



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA OZUBENÉHO PASTORKU

PRODUCTION OF GEAR

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lucie Svozilová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2019

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Studentka: **Lucie Svozilová**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Výroba ozubeného pastorku

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kuželové ozubené kolo, které je vyrobené z konstrukční oceli, je součástí převodového ústrojí stavebního stroje. Kolo je tvořeno nábojem a věncem, na němž je vytvořeno kuželové ozubení s příkými zuby. Účelem práce je prověřit výrobní možnosti a na podkladě provedené analýzy navrhnout a zpracovat postup výroby řešené součásti.

### Cíle bakalářské práce:

- Analyzovat možné způsoby výroby řešené součásti.
- Zvolit vhodný materiál, optimální technologii výroby a pro zvolenou výrobní technologii zpracovat literární studii.
- Sestavit technologický postup výroby doložený nezbytnými technologickými výpočty.
- Zpracovat výkresovou dokumentaci nástrojů.
- Zpracovat technicko–ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

### Seznam doporučené literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. (2007): Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. (2006): Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

ASM-Metals Handbook: Forming and Forging. (2004): Vol.14. USA ASM International. S.978. ISBN 0-87170-020-4.

LIDMILA, Zdeněk. (2008): Teorie a technologie tváření II. Brno: Univerzita obrany. 106 s. ISBN 978-80-7213-580-2.

NOVOTNÝ, Karel. (1992) Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

SVOZILOVÁ Lucie: Výroba ozubeného pastorku.

---

Bakalářská práce uvádí návrh technologického postupu výroby kuželového ozubeného kola, jehož polotovarem je ocelová tyč materiálu 12 050. Na základě literární studie a následných výpočtů je navrženo tříoperační kování v otevřené zápustce s použitím spodního kolíkového vyhazovače. Kování je realizováno na svislém kovací lise LZK 1600 P/SH o tvářecí síle 16 MN. Ostřihování a děrování výkovku je prováděno na ostřihovacím lise LKOA 200. Zápustky jsou vyrobeny z oceli 19 556 a tepelně zpracované podle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: zápustkové kování, ozubené kolo, výkovek, klikový lis, výronek

## **ABSTRACT**

SVOZILOVÁ Lucie: Production of gear

---

The project elaborated design of technology production of the spur bevel gear, which is made of a steel rod from material 12 050. Pursuant to of the literary pursuit and calculation is designed as a threeoperational forging in an open die with using of ejector. Forging is realised in the vertical crank press LZK 1600 P/SH, with forming force 16 MN. Shearing and punching is performed in the shear press LKOA 200. Forging dies are produced from alloyed instrumental steel 19 556 heat-worked according to drawing documentation.

Keywords: die forging, toothed gear, forged piece, crank press, burr

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

SVOZILOVÁ, Lucie. *Výroba ozubeného pastorku*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116383>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 24.5.2019

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky i rady týkající se zpracování bakalářské práce. Především za jeho trpělivost a pečlivost.

# **OBSAH**

**ZADÁNÍ**

**ABSTRAKT**

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

**ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

**PODĚKOVÁNÍ**

**OBSAH**

**ÚVOD ..... 9**

**1 ROZBOR ZADÁNÍ ..... 10**

1.1 Výrobní možnosti kuželových ozubených kol ..... 10

**2 TECHNOLOGIE KOVÁNÍ ..... 13**

2.1 Podstata technologie kování ..... 13

2.2 Ohřev ocelí na kovací teplotu a ohřívací zařízení ..... 14

2.3 Kovací stroje ..... 16

2.3.1 Buchary ..... 17

2.3.2 Lisy ..... 18

2.4 Konstrukce zápustek ..... 19

2.4.1 Požadovaná přesnost výroby ..... 19

2.4.2 Výkres výkovku ..... 20

2.4.3 Konstrukce dokončovací zápustky ..... 22

2.5 Polotovar a jeho dělení ..... 24

2.6 Ostřihování výronku ..... 26

2.7 Tepelné zpracování po kování ..... 27

**3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP S VÝPOČTY ..... 28**

3.1 Navržení výkovku ..... 28

3.2 Návrh výronkové drážky ..... 31

3.3 Volba polotovaru a následné manipulace ..... 32

3.3.1 Dělení a ohřev polotovaru ..... 33

3.4 Kovací a ostřihovací stroj ..... 35

3.4.1 Výpočet kovací síly ..... 35

3.4.2 Volba kovacího stroje ..... 37

3.4.3 Volba ostřihovacího lisu ..... 38

3.4.4 Návrh zápustek ..... 38

**4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ ..... 39**

**5 ZÁVĚRY ..... 43**

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

**SEZNAM TABULEK**

**SEZNAM PŘÍLOH A VÝKRESŮ**

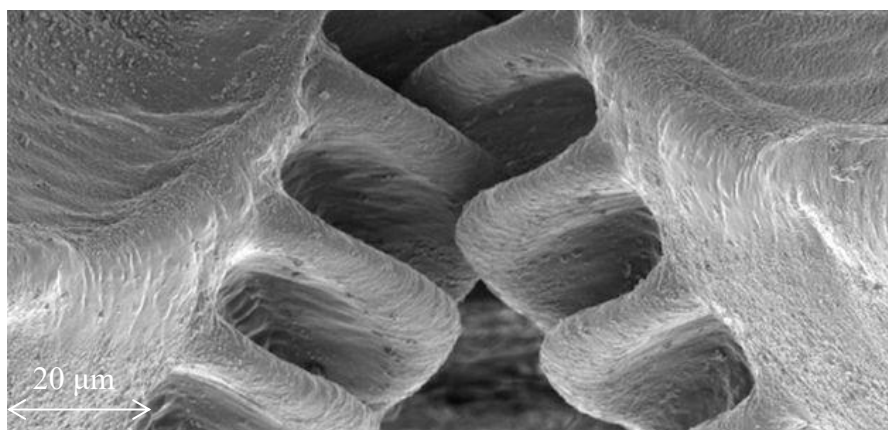


## ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

Široké spektrum průmyslových strojů, dopravních prostředků, ale i živých organismů (obr. 1) využívá k pohybu ozubené převody. Jedná se o jeden ze způsobů, jak změnit rychlost pohybu, jeho směr či druh. Tvoří ho alespoň dvě ozubená kola, hnací a hnané. Ta vytváří tzv. soukolí, která jsou vyráběna od dvou členů, až po planetové mechanismy s desítkami členů. Mohou se přímo dotýkat, nebo je spojuje převodový prvek, např. řetěz u kola nebo řemen u automobilu.

Ozubeným převodem je přenášena mechanická energie. Mění se pohyb z otáčivého na posuvný, ale zejména je převáděn otáčivý pohyb mezi dvěma hřídelemi. Ty mohou být vůči sobě v různém postavení: s osami rovnoběžnými – čelní soukolí, různoběžnými – kuželová soukolí (obr. 2) i mimoběžnými – hypoidní a šnekové převody. Poměr mezi úhlovými rychlostmi je zachován. Tento druh převodu je velice efektivní, spolehlivý, bohužel však nákladnější na výrobu. Nejpoužívanějšími druhy soukolí jsou čelní s přímými zuby, čelní se šikmými zuby, kuželová a šneková.

Kuželová ozubená kola (obr. 3) jsou součástí např. průmyslových převodovek, převodových mechanismů obráběcích strojů, v nápravách, u rotoru helikoptér. Nejběžněji je využíván převodový poměr 1:1 (pastorek : kolo) a pravoúhlé spojení. Tento typ převodu je volen, požadujeme-li přenos vysokých rychlostí a zatížení. Proto je také kladen důraz na jejich přesnost. Složitost jejich výroby je vykompenzována dlouhou životností.



Obr. 1 Ozubený převod v noze svítilky [1]



Obr. 2 Kuželové soukolí [5]

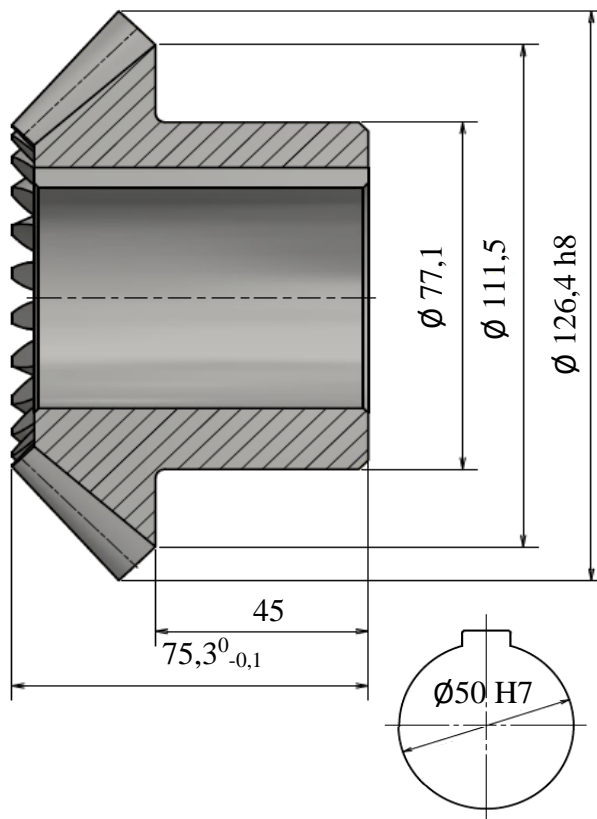


Obr. 3 Kuželové ozubené kolo [4]

# 1 ROZBOR ZADÁNÍ [6], [7]

Řešenou součástí je kuželový ozubený pastorek pro stavební stroj. Pastorek je tvořen věncem a nábojem. Věnc je dále specifikován 24 zuby o modulu 5 mm. Základní rozměry součásti jsou na obr. 4. Ozubené kolo je vyráběno v sérii 80 000 ks·rok<sup>-1</sup>. Vzhledem k vysokému předpokládanému zatížení součásti byla výrobním materiálem zvolena ocel 12 050, jejím ekvivalentem je materiál C45E. Jedná se o nelegovanou ušlechtilou ocel k zušlechťování, která je užívána pro výrobu ozubených kol, čepů, šroubů a hřídelí. Přesné chemické složení je uvedeno v tab. 1.

Ve stavu normalizačně žíhaném u průměrů kolem 100 mm se ocel vyznačuje mezí kluzu  $R_{e\ min} = 275\ MPa$ , pevností v tahu  $R_{m\ min} = 560\ MPa$  a houževnatostí  $A\ min = 16\ \%$ . Mez pevnosti v tahu při dokovací teplotě 900 °C nabývá hodnoty  $R_m = 80\ MPa$ . Pro C45E je doporučeno, k získání optimálních mechanických vlastností u složitějších dílů, kalit při teplotě 830 – 860 °C plamenem nebo indukci do oleje. Pro tvárění za tepla je doporučeno rozmezí teplot od 850 – 1150 °C. Byla-li ocel vyráběna válcováním, může být snížena obrábitelnost. Pro obrábění je užívána ocel ve stavu žíhaném na měkko. Více informací o materiálu je v materiálovém listu v příloze 1.



Obr. 4 Schéma vyráběného ozubeného kola

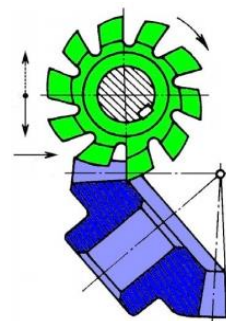
Tab. 1 Chemické složení C45E [6]

C45E	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cr+Mo+Ni
% hmotnosti	0,42-0,50	max 0,4	0,5-0,8	max 0,03	max 0,035	max 0,4	max 0,1	max 0,4	max 0,63

## 1.1 Výrobní možnosti kuželových ozubených kol [8], [9], [10], [11], [12]

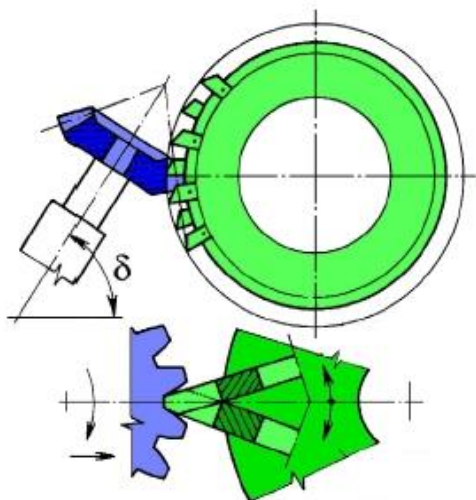
Volba metody výroby je ovlivněna požadovanými mechanickými vlastnostmi součásti, sériovostí výroby, požadovanou přesností výrobků a finanční náročností výroby. Pro výrobu kuželových ozubených kol jsou vhodné tyto metody výroby:

- Třískové obrábění – je v tomto případě složeno ze soustružnických operací, kdy z vhodně zvoleného polotovaru je soustružen základ pro věnc a náboj, dále pak frézování, při němž jsou tvořeny zuby ozubeného kola. Zuby mohou být vytvářeny těmito způsoby:
  - Frézování tvarovou frézou – je nejjednodušším způsobem obrábění kuželových ozubených kol. Obrobek je upnut do dělicího stroje, přičemž v prvním kroku dochází k obrobení jedné zubové mezery. V druhém kroku je obrobek pootočen o zubovou rozteč (obr. 5).

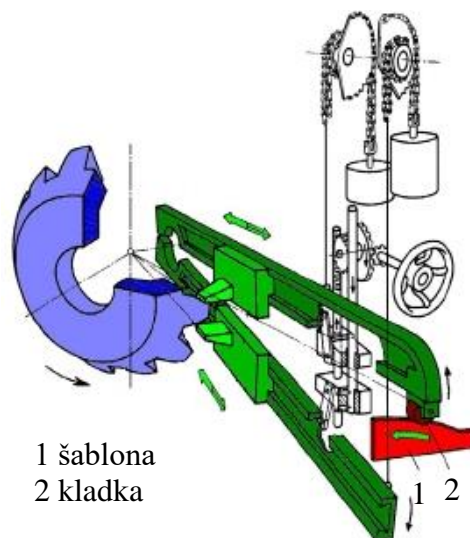


Obr. 5 Frézování tvarovou frézou [8]

- Frézování nožovými hlavami – je užíváno dvou nožových kotoučových hlav (obr. 6), do kterých jsou vsazeny břity. Frézuje se dělicím způsobem, kdy je obrobek odvalován po nástroji. Metoda je vhodná jen pro malé moduly. Největším výrobitelným modulem je modul rozměru 10 mm.



Obr. 6 Frézování nožovými hlavami [8]

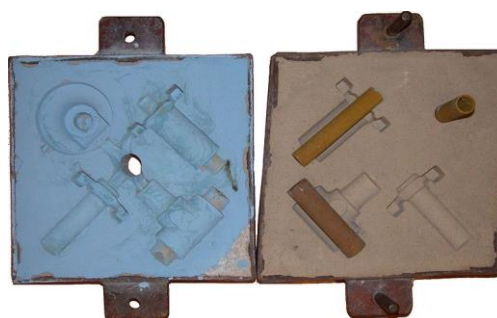


Obr. 7 Šablonování [8]

- Frézování podél šablony – profil šablony je dán tvarem zvětšeného boku zubu. Konstrukci šablony i schéma kinematiky pohybů obr. 7. Základním prvkem metody je kopírovací kladka, která slouží ke kopírování tvaru šablony tím, že je po ní odvalována. Opět se jedná o výrobu dělicím způsobem, kdy každý jeden zub je vyráběn pootočením o jednu zubovou rozteč. Výhodou je, že stejná šablona je používána pro kuželová kola se stejným počtem zubů, bez ohledu na modul kola.
- Protahování – je užíván protahovací trn s břity, které mají obloukový tvar a jsou řazeny od nejmenšího po největší. Takto vytvořený nástroj je protahován obrobkem, na kterém je postupně zvětšována zubová mezera. Na protahováku je výseč bez břitů. Úsek je určen k tomu, aby byl obrobek v dělicím stroji pootočen o jednu zubovou mezeru. Protahovací trny jsou však velice drahými nástroji.

Vzhledem k tomu, že je ozubené kolo určené pro stavební stroj, je počítáno s vysokým zatížením tohoto kola, proto není zcela vhodné volit metodu třískového obrábění jako primární metodu pro výrobu. Nevzniká zde protvářená, vláknitá struktura, která se vyznačuje lepšími mechanickými vlastnostmi. Třískové obrábění je třeba volit pro dokončovací operace, jelikož touto cestou je možné docílit požadované přesnosti rozměrů a jakosti povrchu.

- Odlévání ozubených kol – pro odlévání ozubených kol lze využít metody lití do pískové formy (obr. 8). Písková forma je tvořena dvěma rámy – horním a dolním, mezi nimiž je dělicí rovina modelu. Model je udusán vibračně nebo tlakově ve směsi pojiva a slévárenského písku do rámu. Po udusání je vyjmut. Forma je případně doplněna o jádra, která tvoří dutinu v odlitku. Obě poloviny jsou spasovány na sebe. Dále jsou vytvořeny



Obr. 8 Odlévání do pískové formy

vtokové kanálky, kudy je vléván roztavený materiál do formy. Po zatuhnutí je odlitek vyklepán z formy, která je tímto procesem zničena.

U odlévání se mohou vyskytovat vnitřní vady (vměstky a trhliny), pórovitost povrchu, snížená homogenita materiálu při různé tloušťce stěn. Tento proces je také energeticky náročný. Lze však odlévat i složitější součásti a součásti velmi rozměrné a hmotné z téměř neomezeného spektra kovových materiálů. Pro ozubená kola užívaná ve stavebních strojích jsou však mechanické vlastnosti odlitků nedostačující.

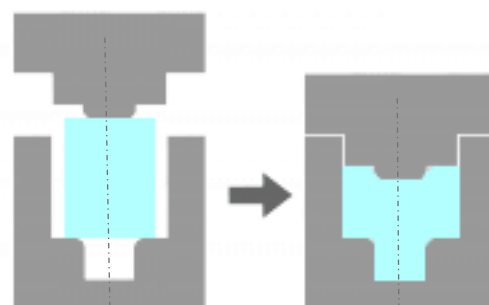
#### ○ Zápustkové kování:

- Kováním na stroji s kyvnou hlavou – tato metoda je používána ke zhotovování přesných výkovku, přičemž zde není potřeba vysokých tvářecích sil. Specifičnost metody spočívá v tom, že kyvná zápustka se při tváření nedotýká celým svým povrchem horní části polotovaru. Na stroji může být nastaveno několik typů pohybů kyvné zápustky – kruhový, přímočarý, vícelistový křivkový a spirálový křivkový pohyb.

Pro kování kyvnou hlavou je zapotřebí speciálního stroje, což není běžnou záležitostí. Pro sériovost 80 000 ks·rok<sup>-1</sup> se koupě tohoto stroje nejeví ekonomicky výhodná.

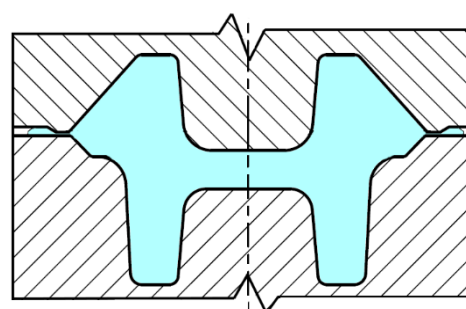
- Přesné zápustkové kování v uzavřeném nástroji – výkovek je kován bez výronkové drážky v uzavřené dutině nástroje (obr. 9). Proto je tok materiálu ztížen. U kování rotační součásti s otvorem nad cca 20 mm musí být navržena technologická blána. Do této blány může být navržen kompenzátor kovu. Tento způsob se pak nazývá kování s vnitřním výronkem.

Za značnou výhodu této technologie lze pokládat minimalizaci materiálových nákladů, vysokou přesnost výkovku a minimální přídavky na obrábění. Následnou kalibrací je možné docílit přesných kuželových kol bez dalšího obrábění. Proces kování je však spojen s celou řadou obtíží, jako je nutnost použití velmi přesného polotovaru, zajištění konstantní teploty polotovaru a nástroje, zajištění konstantních tribologických podmínek apod.



Obr. 9 Uzavřená zápustka [12]

- Zápustkové kování s výronkem, v otevřeném nástroji – nástroj je tvořen horní a dolní zápustkou. Při tomto způsobu kování je přebytečný materiál z polotovaru v závěrečné fázi kování přemísťován do výronkové drážky, která tak plní funkci regulátoru tlaku v dutině zápustky (obr. 10). Kování je prováděno s přesností IT16 až IT12. Po jeho ukončení je nutné do výroby zařadit i ostřihovací stroj pro ostřížení výronku. Následuje obrábění na výsledný rozměr.



Obr. 10 Otevřená zápustka

Výhodou je, stejně jako u všech metod kování, vznik vláknité struktury, se kterou rostou mechanické vlastnosti výkovku. V otevřeném nástroji jsou kovány výkovky s přídavkem na ozubení. Jedná se tedy o ne příliš přesnou, avšak produktivní metodu. Má-li být zajištěna vláknitá struktura a dobré mechanické vlastnosti výrobku bez povrchových a vnitřních vad, je metoda kování v otevřeném nástroji technicky i ekonomicky nejvýhodnější volbou. Z těchto důvodů je voleno tváření, konkrétně kování v otevřené zápustce, výrobní metodou pro výrobu kuželového ozubeného kola.



## 2 TECHNOLOGIE KOVÁNÍ [10], [11], [13]

Kování je řazeno k technologiím objemového tváření, které je nejčastěji prováděno za nadrekrytalizační teploty. Může však probíhat za poloohřevu a za studena.

Kování je děleno do dvou základních kategorií:

- Volné kování – kove-li se volně, není užíváno zápustky s dutinou, která představuje negativ výkovku, nýbrž univerzálních nástrojů tzv. kovadel a jiných pomůcek, např. příložky, sekáče, trny a průbojníky. Volně jsou kovány převážně velké výkovky, přibližně do 350 tun. Lze však kovat i výkovky o desítkách kilogramů. Menší výkovky jsou kovány na bucharech, větší pak na hydraulických lisech.
- Zápustkové kování – pro zápustkové kování jsou konstruovány jednodutinové či vícedutinové zápustky, které sestávají z horní a dolní části zápustky. Je zde prováděno předkování a dokování, kdy dokovací zápustka má negativní tvar výkovku. Dokončovací zápustka je vždy situována uprostřed mezi předkovacími zápustkami. Tento způsob kování je užíván pro menší polotovary, než je velikost polotovarů pro volné kování. Metoda umožňuje kování tvarově složitějších dílů s vyššími požadavky na přesnost tvaru. Menší, tvarově jednodušší výkovky lze kovat i bez přídavku v uzavřené zápustce.

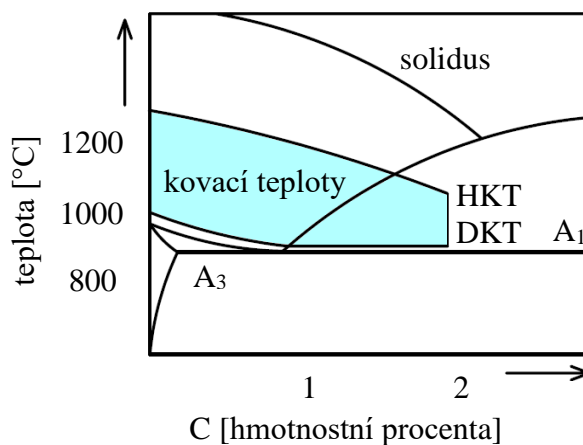
### 2.1 Podstata technologie kování [10], [11], [13], [15]

Kováním nad rekrytalizační teplotou je dána výhoda neomezeného přetváření. Při ohřevu a samotném kování musí být brán zřetel na to, že vznikají okuje z důvodu oxysličení a oduhlíčení materiálu, delší výdrž na teplotě zapříčiňuje hrubnutí zrna. Cílem je vylepšení mechanických vlastností materiálu.

Kovací teploty pro ocel jsou zobrazeny v obrázku 11. Horní kovací teplota (HKT) je dána teplotou solidu, která je snížena o 150 až 200 °C. Dolní kovací teploty (DKT) se liší pro podeutektoidní a nadeutektoidní ocel. Pro podeutektoidní ocel se DKT pohybuje přibližně kolem teploty  $A_3$  zvýšené o 50 °C a pro nadeutektoidní ocel pak kolem teploty  $A_1$ , která je rovněž zvýšená o 50 °C.

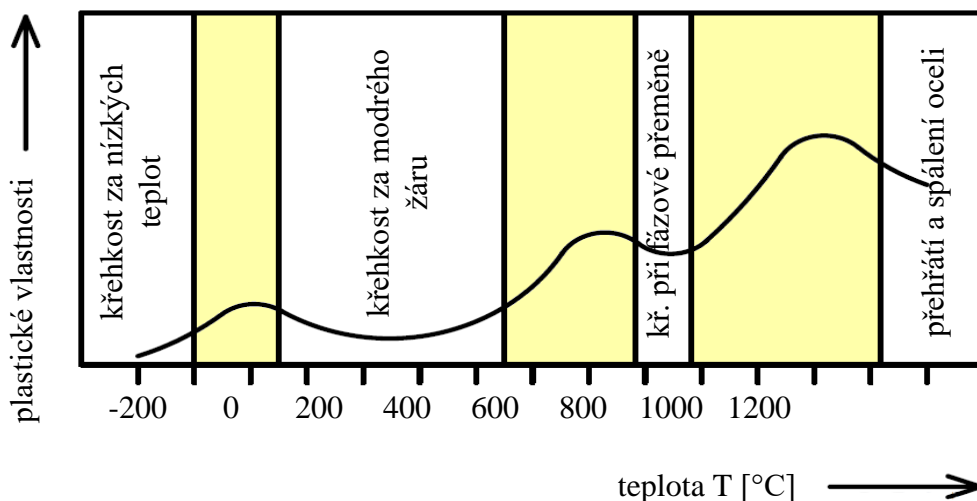
Výhodami tváření za tepla jsou malé přetvárné odpory, vznik protvářené vláknité struktury a menší tvářecí síly, z čehož vyplývá také menší přetvárná práce i to, že je nástroj méně silově namáhán. Naopak mezi nechtěné aspekty kování jsou řazeny: velká spotřeba energie na přehřev materiálu a zápustek, stroj i nástroj jsou ohřevem namáhány, menší tvarová a rozměrová přesnost (což neplatí pro přesné kování), neekonomické využití materiálu z důvodu tvorby okují, u některých typů kování i vznik výronku.

Základní vlastností kovových materiálů umožňující jejich tváření je tvařitelnost. Ta je specifikována jako schopnost tělesa měnit svůj původní tvar na tvar jiný bez vzniku porušení, a to za podmínek, které jsou co nejvíce podobné reálné tvářecí technologii. Tvařitelnost vychází z plasticity materiálů, kterou však můžeme ovlivnit vhodnými podmínkami tváření. Na obrázku 12 je znázorněno, jak se plastické vlastnosti mění se s teplotou  $T$ . Průběh plastických vlastností není lineární, ale s teplotou roste i klesá. V obrázku jsou znázorněny tři oblasti s rostoucími plastickými vlastnostmi. Konkrétně se jedná o oblast přibližně kolem 20 °C, kdy



Obr. 11 Kovací teploty oceli [10]

se kove za studena a oblast poloohřevu, což je přibližně při 600 °C. Maxima je dosaženo kováním za tepla při teplotách kolem 1000 °C.



Obr. 12 Proměnlivost plastických vlastností oceli s T [10]

Tvařitelnost se vyjadřuje také ve vztahu k určité technologii (tzv. technologická tvařitelnost). Tímto případem je kovatelnost. Tato vlastnost je posuzována zkouškami, které jsou také připodobněny reálné kovárenské technologii. Příkladem může být uvedena zkouška petchování válečků s vrubem i bez. Kovatelnost porovnáváme s využitím součinitele petchování:

$$Kp = \frac{H_{krit}}{H_o} \quad (2.1)$$

kde:  $Kp$  – součinitel petchování [-]

$H_{krit}$  – kritická výška válečku [mm]

$H_o$  – původní výška válečku [mm]

Součinitel petchování může být získán také ze vztahu:

$$D_{sm} = \left( \frac{D_{krit}}{D_o} \right) - 1 \quad (2.2)$$

kde:  $D_{sm}$  – součinitel petchování [-]

$D_{krit}$  – kritický průměr válečku [mm]

$D_o$  – původní průměr válečku [mm]

## 2.2 Ohřev ocelí na kovací teplotu a ohřívací zařízení [10], [13], [15]

Již bylo zmíněno, kde se nachází pásmo kovacích teplot (obr. 11). Tyto teploty mohou být dále děleny na čtyři části:

- horní kovací teplota (HKT) – nejvyšší přípustná teplota, na kterou může být polotovar ohřátý
- počáteční kovací teplota – teplota, kdy je kování zahájeno
- dolní kovací teplota (DKT) – nejnižší přípustná teplota, při které může být polotovar kován
- dokovací teplota – teplota, již polotovar vykazuje při dokončení kování

Pro dokování je doporučeno příliš nepřekračovat DKT, což by vedlo k hrubnutí zrna. Stejně pak není žádoucí dokovávat pod DKT, jelikož by docházelo ke zdůraznění nestejnosti vlastností materiálu ve všech směrech – anizotropii.

S rostoucí rychlostí ohřevu se zkracuje doba ohřívání polotovaru, ale tím razantněji roste tepelné pnutí. Kvůli tepelnému pnutí jsou polotovary děleny podle velikosti na tenké a tlusté, kdy hranici tvoří tloušťka 100 mm. Polotovary menších průměrů jsou ohřívány v pecích

s neproměnnou teplotou. Rozložitější polotovary jsou vkládány do pecí s řízeným ohřevem, kde je teplota regulována.

Jsou-li dodrženy všechny zásady, je omezeno okysličení i oduhličení povrchu a následný vznik opalu. Vzniká-li opal, je provázen úbytkem materiálu ve formě opadávajících okují, které se dále lepí na pecní nístěj, což snižuje životnost pece. U plynových pecí může být opal u větších polotovarů omezen změnou složení spalín pomocí úpravy poměru oxidačních a redukčních složek nebo přidáním legur do oceli.

V kovárnách je v zásadě využíváno pecí plynových a elektrických. Pro velké polotovary, zpravidla při volném kování, jsou užívány pece plynové (3 – 5 % materiálu po ohřátí tvoří okuje), které jsou stavěny jako komorové a děleny na:

- vozové – nístěj vyjíždí.
- narážecí – pec je průběžná a polotovar je strkán skrze pec.
- štěrbinové – slouží pro ohřev konců tyčí a trubek, mají využití i pro zápusťkové kování.

Polotovary pro zápusťkové kování jsou ohřívány v elektrických pecích:

- odporových
  - s přímým průchodem proudu – polotovar je ohříván přímo. Pec je vhodná pro tenké polotovary
  - s nepřímým průchodem proudu – prvotně jsou ohřívány topné články. Jedná se o neefektivní způsob ohřevu, který je nahrazován ohřevem indukčním. Tento typ předehřívání je uplatňován u barevných kovů.
- indukčních – hlavní složkou pecí je cívka neboli induktor. Je zde indukováno magnetické pole, které vyvolává v ohřívaném materiálu vířivé proudy, jenž ohřívají polotovar v 87 % převážně na povrchu (obr. 13). Vzhledem k rychlosti ohřevu je okujemi znehodnoceno jen 1 % materiálu.



Obr. 13 Indukční pec [15]

Má-li být ocel ohřáta hospodárně, musí být zvolen vhodný kmitočet. Pro nějž existuje pomocná tabulka firmy Roboterm (tab.2), která udává rozměry vsázky a k nim doporučený kmitočet. Tabulku lze využít, je-li ocel ohřívána na přibližně 1200 °C. Je patrné, že s rostoucí frekvencí doporučený průměr vsázky klesá.

Tab. 2 Doporučená hodnota kmitočtu a průměru vsázky [14]

kmitočet [Hz]	průměr vsázky [mm]
50	200 – 600
250	90 – 250
500	65 – 180
1000	50 – 140

## 2.3 Kovací stroje [11], [13]

Aby mohla být navržena zápustka, je zapotřebí vybrat vhodný kovací stroj. Kovací stroje jsou primárně děleny na buchary, vřetenové a klikové kovací lisy. Pro určení potřebné velikosti bucharu je třeba vypočítat rázovou práci, pro lisy pak kovací sílu.

Rázová práce nebo také přetvárná práce je dopočítána pro kruhové výkovky podle vzorce (2.3).

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot D_D \cdot \sigma_p \quad (2.3)$$

kde: A – rázová práce [J]

$D_D$  – je průměr výkovku, který má být menší nebo roven 60 cm [cm]

$\sigma_p$  – přetvárný odpor za dané teploty, dle normy nebo materiálového listu [MPa]

Výpočet kovací síly je závislý převážně na hmotnosti, rozměru výkovku i výronku a přirozeném přetvárném odporu. Samotný výpočet pro kruhové výkovky je realizován na základě tří různých studií, a to výpočet podle Gubkina, Storoževa nebo Tomlenova. Gubkin vychází z tuhoplastického modelu, kdy kov mimo těsné okolí dělicí roviny zůstává tuhý, což přináší zjednodušení pro výpočet deformačního odporu a kovací síly. Storožev, stejně jako Gubkin, navrhuje počítat kovací sílu součtem potřebných sil pro přetvoření výronku a síly, která je potřebná pro přetvoření kovu v dutině zápustky. Tomlenov počítá s tím, že deformační odpor se vlivem změny profilu a teploty mění. Integrací křivky rozložení deformačních odporů je získávána normální složka kovací síly  $F_N$ . Tečná složka kovací síly je pak dána vzorcem. Celková kovací síla je získána součtem normální (2.4) a tečné složky síly (2.6). Geometrický výpočtový model podle Tomlenova se znázorněním deformačních napětí je v příloze 2.

$$F_N = \int_S \sigma_d \cdot ds = 2\pi \int_0^{\frac{D}{2}} \sigma_d \cdot r \cdot dr = 2\pi \sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j \quad (2.4)$$

kde:  $F_N$  – normální složka kovací síly [N]

$\sigma_d$  – přetvárný odpor [MPa]

$r_j$  – délka úseků (od těžiště po střed výkovku) pod čarou def. odporů [mm]

$D$  – průměr výkovku [mm]

$S_j$  – dílčí plochy v úsecích  $r_j$  pod čarou deformačních odporů [mm<sup>2</sup>]

$$S_j = \frac{1}{2} (\sigma_{j-1} + \sigma_j) \cdot \Delta r_j \quad (2.5)$$

$$F_T = \sum_{j=1}^n \tau_{fj} \cdot \pi \cdot D_j \cdot \Delta z_j = \pi \cdot f \cdot \sigma_p \sum_{j=1}^n D_j \cdot \Delta z_j \quad (2.6)$$

kde:  $F_T$  – tečná složka kovací síly [N]

$\tau_{fj}$  – smyková napětí na bočních stěnách výkovku [MPa]

$$\tau_{fj} = f \cdot \sigma_p \quad (2.7)$$

kde:  $f$  – součinitel tření v intervalu <0,35; 0,45> [-]

$z_j$  – průřez součásti [mm]

Pro výpočet je zapotřebí vypočítat napětí v jednotlivých bodech průřezu. Tato napětí jsou počítána dle vztahů:

$$\sigma_0 = \psi \cdot \sigma_s = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 \quad (2.8)$$

$$\sigma_s = R_{mT} \cdot C_0 \quad (2.9)$$

$$\psi = 1 + 0,73\mu \quad (2.10)$$

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} + R_{mT} \cdot \frac{b_{n-1}}{h_{n-1}} \quad (2.11)$$

kde:  $\sigma_n$  – napětí v průřezu [MPa]

$\psi$  – vliv tření na vzrůst napětí [-]

$\mu$  – koeficient tření ( $\mu = 0,4$ ) [-]

$R_{mT}$  – pevnost materiálu za kovací teploty, určeno z ČSN 22 8306 [MPa]

$C_0$  – součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot, určeno z ČSN 22 8306 [-]



Přibližnou sílu je možné určit podle nomogramu dle ČSN 22 8306. Kde je vycházeno z hodnoty přetvárné pevnosti, která je zde označována ' $k_p$ ', průmětu plochy výkovku ' $S_c$ ' a je zapotřebí určit tvarovou složitost výkovku. Nomogram, hodnoty ' $k_p$ ' i tabulka stupňů tvarové složitosti jsou v příloze 3.

Zjednodušeným vzorcem přibližné kovací síly dle ČSN 22 8306 je vzorec (2.12).

$$F = S_c \cdot k_o \quad (2.12)$$

kde:  $F$  – kovací síla [N]

$S_c$  – průmět plochy výkovku a můstku výronku [cm<sup>2</sup>]

$k_o$  – přetvárný odpor [MPa]

$$k_o = k_p \cdot K_{TS} \quad (2.13)$$

kde:  $k_p$  – přetvárná pevnost [MPa]

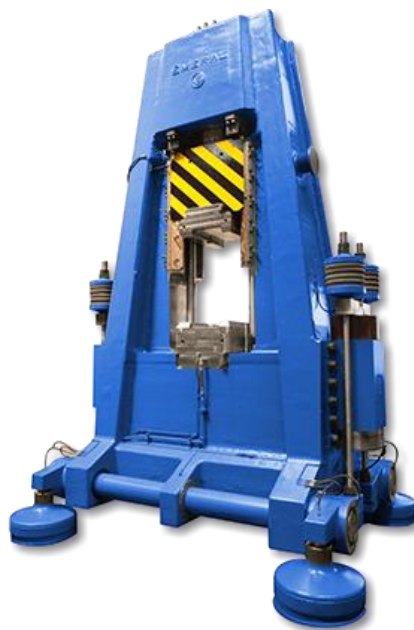
$K_{TS}$  – součinitel tvarové složitosti [-]

### 2.3.1 Buchary [11], [16], [17], [18]

Buchary jsou konstruovány jak pro volné kování, tak pro kování v zápustkách. Musí však být bráno v potaz, že při práci na bucharech dochází k rychlejšímu opotřebení zápustek, je zde horší možnost automatizace výroby a výrobu doprovází silné otřesy.

Buchary mohou být děleny na:

- Padací buchar – je vybaven beranem, který padá na výkovek volným pádem. Tento typ není v dnešní době užíván pro kování v zápustkách.
- Parovzdušné buchary – u kterých je pohyb beranu urychlován stlačeným plynným médiem.
- Protiúderový buchar – je výhodný, je-li důležitá vysoká hodnota rázové práce. Je konstruován se dvěma berany, které vykonávají pohyb proti sobě. Protiúderový buchar naší konstrukce, kde je pohyb spodního beranu nahrazen pohybem celého stojanu je na obr. 14.
- Vysokorychlostní buchary – jsou progresivní metodou kování. Faktem však je, že firmy těmito buchary zcela běžně nedisponují.



Obr. 14 Pneumaticko-hydraulický buchar [18]

Zápustky pro buchary jsou děleny na jednodutinové a postupové. Tyto kovací zápustky jsou uchyceny pomocí rybinových drážek, klínu a pera do bucharu (příloha 6-A). Kování v jednodutinové zápustce je voleno tehdy, jedná-li se o velký polotovár, nebo je-li vyráběna velká série výrobků, pro kterou by kování v postupové zápustce bylo značně neekonomické. V současné době je využíváno zejména jednodutinové zápustky a případné předkování je realizováno na předkovacích strojích, zejména na kovacích válcích s příčným klínovým válcováním.

### 2.3.2 Lisy [10], [11], [17], [18]

Mechanické lisy pro zápustkové kování jsou děleny na:

- Svislé klikové kovací lisy – (obr. 15) je zde kováno zpravidla ve třech operacích, kdy pro jednotlivé operace jsou konstruovány samostatné vložky. V těchto vložkách je prováděno přechování a vytlačování i s výrazným bočním tečením materiálu. Kromě toho, že pro všechny dutiny předcházející dokončovací zápustce, musí být počítáno s přírůstkem 3 až 4 % materiálu pro vyplnění vložky, musí být také v první předkovací zápustce zabezpečen ofuk okují. Tyto okuje by v jiném případě byly zakovány do materiálu, a tím by byl materiál znehodnocen. Dále je třeba brát zřetel na to, že u horní a dolní části zápustek nesmí docházet ke styku. Proto i výronková drážka dokončovací zápustky je navrhována jako otevřená, tudíž jedinou přepážku mezi horní a dolní dutinou zápustky tvoří kovaný materiál.

Výhodou tohoto typu strojů je možnost užití dvou prstencových nebo kolíkových vyhazovačů – horního i dolního. Ty napomáhají k jednoduchému vytažení výkovku z dutiny a zároveň ke zmenšení potřebného objemu materiálu pro kování. Díky vyhazovači může být zmenšena velikost úkosů, čímž objem výkovku klesá.

- Vodorovné kovací stroje – vyrábí zejména součásti osově souměrné např. osazené tyče a trubky. Lisy jsou konstruovány se dvěma berany, z nichž jeden je svěřací a druhý přechovací a s třídlínnou zápustkou, která má dvě dělicí roviny. Kovací dutiny jsou u těchto lisů čtyři a tvarově se liší od zápustek pro svislé klikové lisy. Výkovky je možné kovat bez výronku s minimálními ztrátami.
- Vřetenové lisy – jsou přirovnávány k bucharům, jelikož i ony pracují rázem. Rychlost beranu je však tak nízká, že jsou řazeny k lisům. Je zde preferováno kování v jednodutinové otevřené zápustce. Z důvodu jejich nízké rychlosti beranu jsou tyto stroje vhodné pro malosériovou výrobu a méně členité i přesné výkovky.

Upínání zápustek se od upínání v bucharách liší. U lisů je upevnění realizováno za pomoci T drážek, upínek a šroubů (příloha 6-B). Volba kovacího stroje udává velikost upínače. Ten definuje vnější rozměry zápustek.



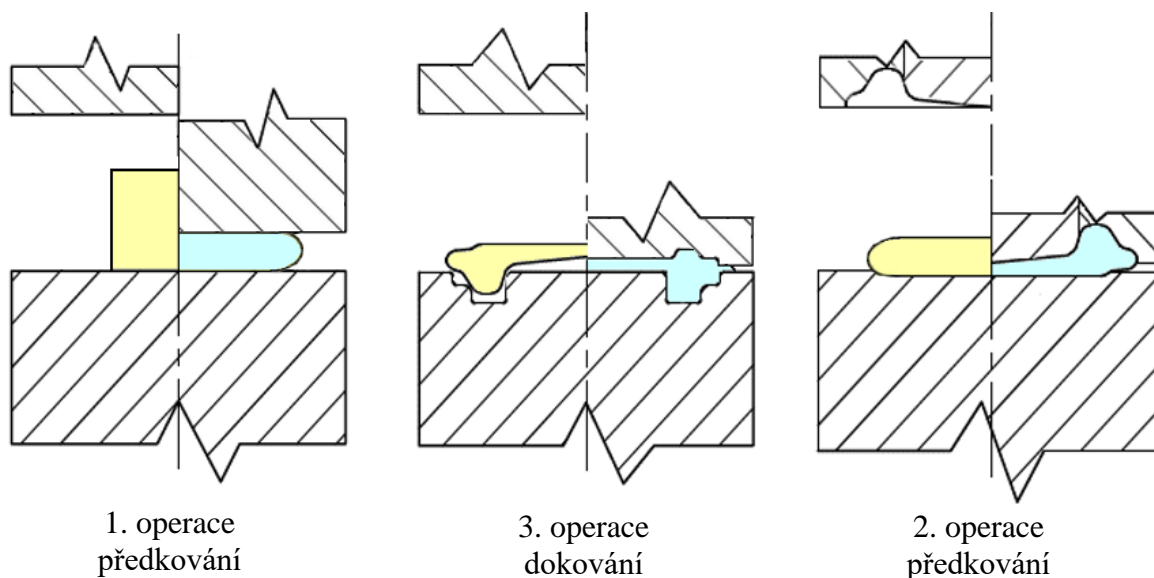
Obr. 15 Klikový lis [18]

## 2.4 Konstrukce zápustek [10]

Postupový kovací nástroj pro kovací lis není tvořen jedním dílem, ale zpravidla třemi zápustkami – předkovacími a dokovací. Cílem předkovacích dutin je předpěchovat materiál a dát výkovku tvar, který se blíží tvaru v dutině dokovací. V této operaci je upřednostňováno přechování před protlačováním polotovaru. Jsou-li v postupovém nástroji tři zápustky, zápustka pro první operaci slouží většinou pouze k napěchování polotovaru a oprýskání okují, které jsou následně z nástroje odfouknuty stlačeným vzduchem. Takto přepracovaný polotovar je umístěn do druhé předkovací zápustky k další operaci. V druhém kroku již výkovek dostává přibližný tvar součásti. Poté dochází k přenesení předkovku do prostřední, dokončovací dutiny.

Tvar dokovací zápustky je dán tvarem výkovku a přídatkem na smrštění materiálu. Proto je pro hotovou součást nutné kromě výkresu součásti zhotovit i výkres výkovku, na kterém jsou zohledněny veškeré přídatky materiálu mimo smrštění. Součástí této dutiny je otevřená výronková drážka.

Na obrázku 16 jsou znázorněny jednotlivé zápustky pro 3 operace. Žlutý materiál představuje stav před uskutečněním dané operace, modrý pak výsledný tvar po operaci.



Obr. 16 Zápustky pro kování na klikovém lisu [10]

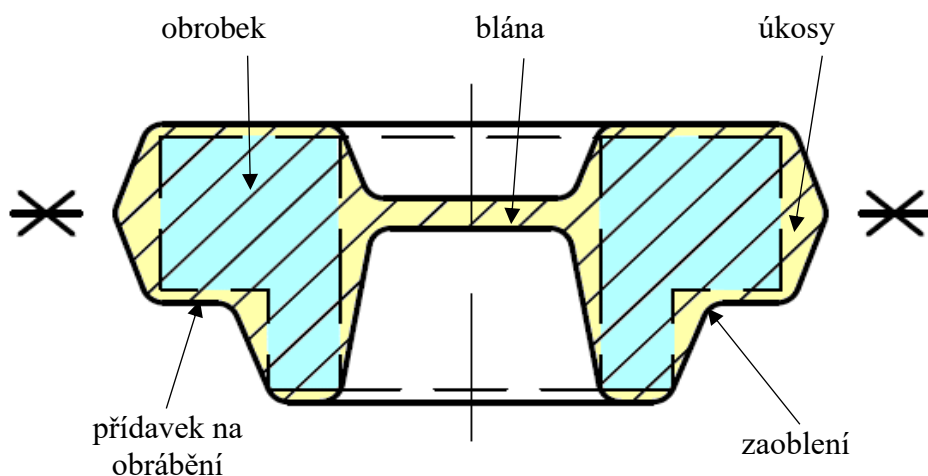
### 2.4.1 Požadovaná přesnost výroby [10], [19]

V první řadě jsou hodnoceny požadavky na přesnost. Tyto požadavky umožňují určit nutné velikosti přídávky a tolerančního rozpětí, což je dáno normou. Lze užít normu ČSN 42 0271, u které je voleno, v jak přesném vyhotovení je vykován výsledný výkovek. Normou jsou možnosti provedení děleny na čtyři úrovně – obvyklé, přesné, velmi přesné a dohodové.

Dále je třeba zhodnotit, jaké mechanické vlastnosti a jakost povrchu jsou u výkovku požadovány, a které vnitřní vady jsou ještě přípustné.

## 2.4.2 Výkres výkovku [10], [20], [21], [22]

Výkres výkovku je jedním ze základních dokumentací potřebných pro tvorbu zápustek, jelikož právě finální výkovek je negativem dutiny v dokovací zápustce. U vytvářené součásti musí být správně zvolena:



Obr. 17 Schéma jednoduchého výkovku s přídávky [21]

- **Dělicí rovina** – je reprezentací místa, kde je zápustka dělena na svou horní a dolní část. Rovina je situována ve výkovku tak, aby jej bylo možno po kování co nejjednodušeji vyjmout z kovací dutiny. Pravidlem je vedení roviny nejširším průřezem výkovku. Dále je vhodné upřednostnit rovinu rovnou před rovinou lomenou. To, jak správně je navržena dělicí rovina, je následně zhodnoceno náročností a nákladností výroby dutin zápustek a ostříhovacího nástroje. Správnou volbou dělicí roviny je rovněž cíleno na to, aby kování probíhalo jako proces pěchování, nikoliv protlačování. Schéma výkovku s dělicí rovinou a jejím značením je zobrazeno na obr. 17.
- **Přídavky na obrábění** – jsou navrhovány pro dosažení požadovaných rozměrů a jakosti povrchu. Jsou předepisovány na všech plochách, které budou po kování upravovány obráběním. Tyto přídavky se liší podle normy, podle tvaru výrobku a jeho hmotnosti.
- **Technologické přídavky** – jsou to takové přídavky, díky nimž je zjednodušena výroba, která je rovněž spolehlivější, jelikož dochází k zabíhání materiálu do všech míst. Výkovek se správně navrženými přídávky lze jednoduše vyjmout z kovací dutiny. Technologickými přídávky jsou myšleny úkosy, zaoblení hran a přechodů, blány a zesílení tenkých stěn.

Jak lze vidět na obrázku 17, úkosy jsou tvořeny na všech plochách, které jsou situovány kolmo k dělicí rovině. Jak vyplývá z tabulky 3, úkosy vnějších ploch jsou navrhovány menší, než jsou úkosy ploch vnitřních. Je to z důvodu pracujícího materiálu v době ochlazování. Konkrétně se jedná o ochlazování a smršťování.

Tab. 3 Dovolené úkosy dle ČSN 42 9030 [20]

- **Zaoblení hran a přechodů** – zabezpečuje zatečení materiálu do dutiny zápustky a zároveň zamezí vzniku přeložky materiálu. Zaoblení je rovněž důležité z pohledu

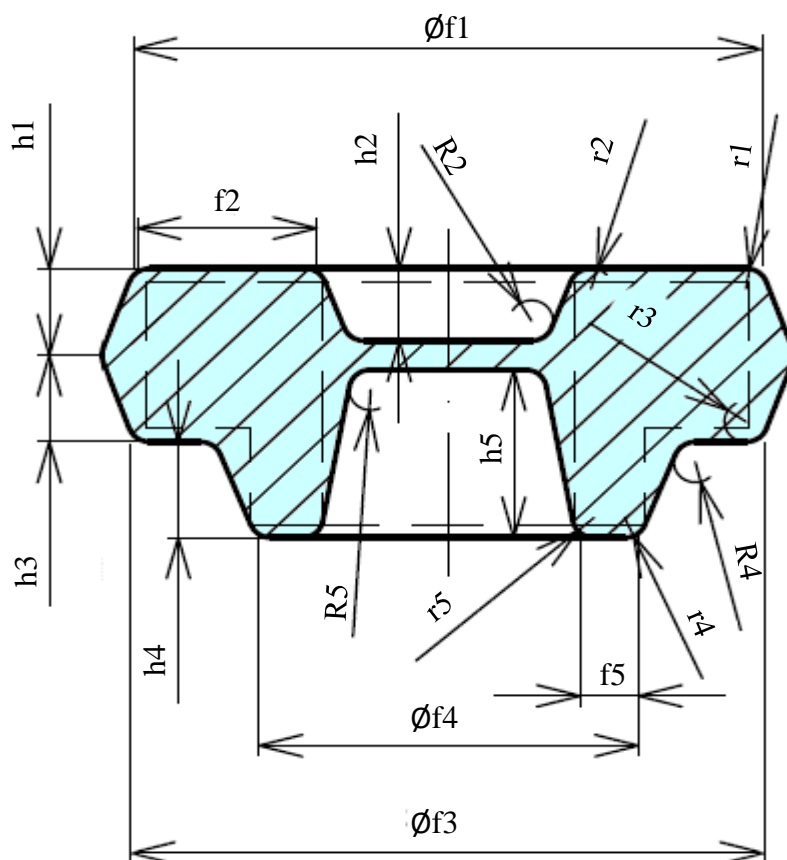
	<b>vnější plocha</b>	<b>vnitřní plocha</b>
běžné úkosy	3 °	7 °
lisy a buchary bez vyhazovače	7 °	10 °
lisy s vyhazovačem	2 ° - 3 °	3 ° - 5 °
vodorovné kovací stroje	0 ° - 5 °	0 ° - 5 °

tepelného zpracování zápustky z nástrojové oceli. Analogicky k navrhování úkosů,

i zaoblení je navrženo tak, aby vnitřní rádius 'R' (zaoblení přechodu) byl větší, než rádius vnější 'r'. Velikosti rádiusů pro jednotlivé poměry výšky 'h' k šířce 'f' jsou dány tabulkou 4 dle normy ČSN 42 9030. Způsob určování příslušných výšek a šířek k daným rádiusům je znázorněno na obr. 18.

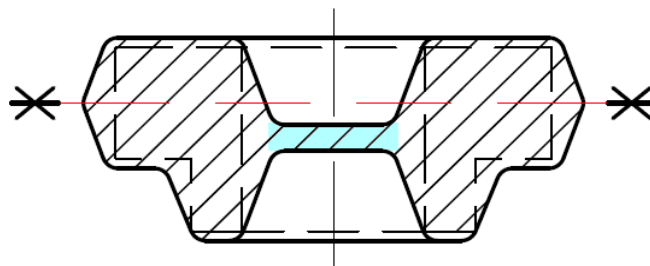
Tab. 4 Doporučené poloměry [20]

výška h		poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		h/f ≤ 2		2 < h/f ≤ 4		h/f > 4	
od	do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25



Obr. 18 Princip zaoblování hran [20], [21]

- Předkování blány – je nutno provádět v případě, je-li předkován otvor větší než cca 20 mm. Po dokování je blána děrováním odstraněna. Poloha blány nemusí kopírovat dělicí rovinu výkovku. Její optimální poloha je uprostřed výšky otvoru (obr. 19). Tloušťka blány je specifikována opět dle



Obr. 19 Vhodnější umístění blány pro ukázkový výkovek [21]



ČSN 42 9030, která udává její nejmenší doporučenou tloušťku, kdy je vycházeno z největšího průměru a maximální výšky. Ve stejné tabulce je také uvedena minimální tloušťka stěny výkovku, případně dna výkovku (tab. v příloze 4).

Kovací blána může být rovněž vypočtena za vzorce (2.14):

$$s = 0,45 \cdot \sqrt{D - 0,25 \cdot h} - 5 + 0,6 \cdot \sqrt{h} \quad (2.14)$$

kde:  $s$  – tloušťka blány [mm]

$D_{ot}$  – průměr kovaného otvoru [mm]

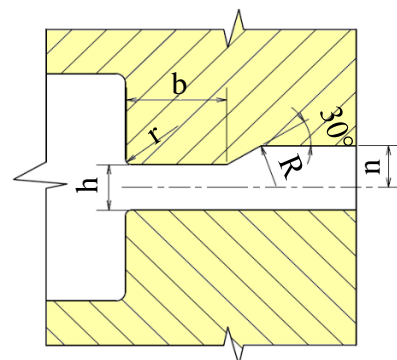
$h_p$  – polovina výšky výkovku (je-li blána umístěna uprostřed) [mm]

- Mezní úchylky a tolerance rozměrů – jsou stanoveny dle tvarové složitosti, podle stupně přesnosti největších rozměrů výkovku, pro rotační výkovky konkrétně – rozměr ve směru rázu (největší výška) a kolmo k rázu (největší průměr). Tabulkové hodnoty lze přiřadit k vnějším rozměrům. Pro vnitřní rozměry je nutné hodnoty úchylek uvést s opačnými znaménky.

### 2.4.3 Konstrukce dokončovací zápustky [10], [11], [23], [24]

Při konstrukci dokončovací zápustky je zapotřebí se zabývat nejen návrhem výkovku, ale i:

- Výronkovou drážkou – existují dva základní typy výronkových drážek. Drážka uzavřená – pro buchary a drážka otevřená – pro lisu (obr. 20). Tento kompenzátor je tvořen v obou případech zásobníkem a můstkem (obr. 21) a přiléhá k celému obvodu výkovku. Důležitým předpokladem pro správné zaplnění zápustek je, že výronek je tvořen jako poslední, až po vyplnění celé kovací dutiny. Aby zaplňování probíhalo ve správném pořadí, je třeba vhodně navrhnout výšku můstku 'h', která reguluje tok materiálu. Výšku lze stanovit ze vzorce (2.15), případně z nomogramu.



Obr. 20 Výronková drážka lisu [10]

Výška můstku je vypočtena podle vzorce (2.15).

$$h = (0,012 \div 0,015) \cdot \sqrt{S_D} \quad (2.15)$$

kde:  $h$  – výška můstku [mm]

$S_D$  – půdorysná plocha výkovku [mm<sup>2</sup>]

Šířka můstku je stanovena na základě poměru (2.16)

$$\frac{b}{h} \leq 3 \quad (2.16)$$

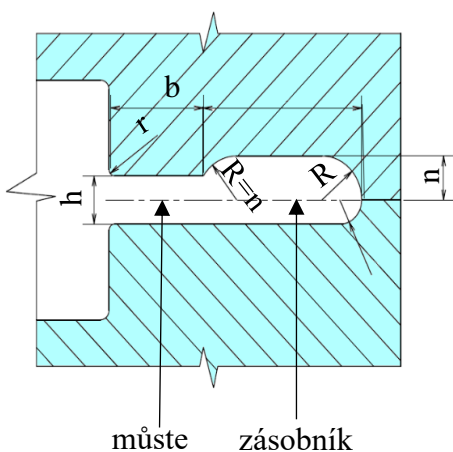
kde:  $b$  – šířka drážky [mm]

Tato šířka je nejvíce trojnásobek výšky drážky.

Hloubka zásobníku je dopočítána ze vztahu (2.17):

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \quad (2.17)$$

kde:  $n$  – hloubka zásobníku [mm]



Obr. 21 Výronková drážka buchar [10]

S rostoucí složitostí výkovku, je zapotřebí vyšších měrných tlaků, kterých je docíleno snížením výšky můstku a jeho prodloužením.

- Smrštěním a mezními úchylkami rozměrů – ke zmenšování objemu materiálu dochází vlivem ochlazování. Tabulka 6 z normy ČSN 22 8306 udává, že u běžných ocelí je to přibližně 1 až 1,3 %. Přídavek je předepisován na všech rozměrech, které přesahují 10 mm.

Tyto rozměry jsou zvětšeny o procentuální hodnotu smrštění. Spojovacích rádiusů se tato úprava netýká.

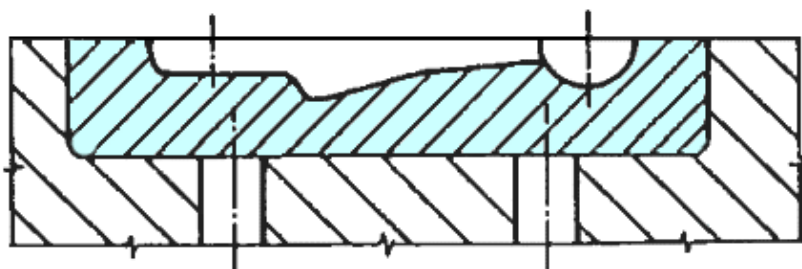
Mezní úchytky pro dokončovací dutinu jsou stanovovány z tabulky 7 dle ČSN 22 8306 (tab. 5). Jsou-li předepisovány úchytky vnějším rozměrům, jsou tyto hodnoty plusové. Jsou-li předepisovány úchytky vnitřních rozměrů, hodnoty jsou minusové. Pro předkovací dutiny pak platí, že hodnoty jsou přibližně dvojnásobné oproti dokončovací záпустce.

Tab. 5 Mezní úchytky jmenovitých rozměrů [23]

jmenovitý rozměr		mezní úchytky	
od	do	kolmo k rázu	ve směru rázu
0	25	0,06	0,07
25	40	0,07	0,1
40	63	0,08	0,12
63	100	0,1	0,15
100	160	0,12	0,2

- Vyhazováním výkovku – při konstrukci nástroje je vhodné zvážit navržení vyhazovače. To je posouzeno na základě členitosti výkovku, tření, způsobu mazání atd. Tímto krokem je usnadněno vyjímání výkovku z dutiny záпустky a rovněž prodloužení její životnosti. Podle tvaru jsou rozlišovány vyhazovače na:
  - prstencové – pro výkovky se zahluobením uprostřed výrobku. Nástroj tvoří předkovací trn a prstencový vyhazovač.
  - kolíkové – lze je umístit mnoha způsoby, a to tak, aby působily na blánu, tvar nebo výronek.
  - vložkové – nejsou běžně konstruovány. Užívají se v případě, je-li blána zhotovována v okraji výkovku.
- Vedením a vložkováním – vedení záпустek u svislých klikových kovací lisů je realizováno pomocí držáku záпустek. U bucharů, případně není-li držák dostatečným vedením (např. pokud je požadována vysoká přesnost), je užíváno:
  - vedení – toto vedení může být konstruováno jako kruhové, podélné nebo příčné.
  - zámeků – je používáno, má-li výkovek lomenou dělicí rovinu, u které vzniká tangenciální složka kovací síly. Tyto posouvající síly jsou zámky zachyceny.

Záпустková vložka je tvořena, je-li záпустka rozměrná, případně pro částečné vložkování tam, kde tvar záпустky je vyšší než položení dělicí roviny. Dochází k úspoře materiálu, jelikož celá záпустka nemusí být tvořena



Obr. 22 Vložkováná záпустka [23]

záпустkovou ocelí. Pro záпустku mimo vložku může být použito jakostní konstrukční oceli. Rovněž probíhá preciznější tepelné zpracování a povrchové úpravy. Při opotřebení je měněna nebo opravována pouze vložka, případně její část. Vložka je do záпустky zalisována (obr. 22) s přesahem H8/u7. Je-li vložkována horní záпустka, musí probíhat kvalitní upevnění, aby se předcházelo uvolnění vložky.

- Rozměry záпустek, opracováním a materiálem – velikost tloušťky stěn 'T' u hranaté záпустky se odvíjí od spodního poloměru zaoblení 'R' záпустky, hloubky dutiny 'H<sub>D</sub>'

a úkosu ' $\alpha_1$ '. Tato nejmenší vzdálenost dutiny od okraje zápustky může být odečtena z nomogramu, případně vypočtena podle vzorce (2.18).

$$T = \frac{11 \cdot H_D \cdot \cos \alpha_1}{\sqrt{H_D + 0,4 \cdot R}} \quad (2.18)$$

kde:  $T$  – vzdálenost dutiny od stěny zápustky [mm]

$H_D$  – hloubka dutiny [mm]

$\alpha_1$  – vnější úkos dutiny [°]

Rozměry zápustky jsou dány zpravidla upínačem. Je-li však průměr zápustky pro kruhové výkovky počítán, je vypočten rozdílně pro předkovací (2.19) a dokovací (2.20) dutiny.

$$D \geq D_D + 0,2 \cdot (D_D + H_D) + 5 \text{ mm} \quad (2.19)$$

$$D \geq D_D + 0,4 \cdot (D_D + H_D) + 10 \text{ mm} \quad (2.20)$$

Výška zápustek je stanovena tak, aby zohledňovala způsob případných oprav. Pro výrobu platí, že úchytky předkovací zápustky jsou  $\pm 0,2$  mm a dokovací zápustky  $\pm 0,1$  mm.

Opracování a drsnosti povrchu jsou přehledně stanoveny z tabulek dle normy ČSN 22 8306.

Vzhledem k tomu, že zápustka je velmi silově i tepelně namáhána, musí být pro její konstrukci navrhován materiál, který se vyznačuje vysokou tvrdostí, otěruvzdorností, houževnatostí a odolností proti teplotnímu ovlivnění – popouštění. Výběr náležitého materiálu je hlavním kritériem pro dostatečnou životnost zápustky. Životnost lze dále prodloužit vhodným druhem tepelného zpracování a povrchových úprav. Konkrétně kalení a popouštění na danou tvrdost. Pro úpravu povrchu je užíváno nitridování. Vhodné materiály jsou uvedeny v tabulce 16 a 17 v normě ČSN 22 8306.

## 2.5 Polotovary a jeho dělení [20], [25], [26], [27]

Jako výchozí polotovar pro výrobu kování, může být použita tyč a její části, kalota (tvarem připomíná kotouč, jedná se o výstřižek) nebo sochor (má čtvercový průřez se zaoblenými hranami).

Hmotnost polotovaru je spočtena na základě hmotnosti výkovku, pro nějž jsou stanoveny vhodné přídavky. Hmotnost výkovku lze zjistit několika způsoby: je-li k dispozici prototyp výkovku, může být tento prototyp zváženo. Je-li k dispozici pouze výkres s jmenovitými rozměry a mezními úchytkami, pak je počítáno s jmenovitým rozměrem a polovinou horní mezní úchytky pro vnější rozměry a s jmenovitým rozměrem a polovinou dolní mezní úchytky pro vnitřní rozměr, z výkresu je znám i materiál, pro nějž je dohledána měrná hmotnost. V dnešní době je možno z výkresu zhotovit i 3D model v modelovacím programu např. Inventor či SolidWorks, kde je pak jednoduše zadána i hustota materiálu. Hmotnost je zde velice rychle vypočtena automaticky. Klasickým způsobem může být hmotnost polotovaru vypočtena ze vztahu (2.21).

$$m_0 = (m_v + m_{vyr}) \cdot \left(1 + \frac{\delta}{100}\right) \quad (2.21)$$

kde:  $m_0$  – hmotnost polotovaru [kg]

$m_v$  – hmotnost výkovku [kg]

$m_{vyr}$  – hmotnost výronku [kg]

$\delta$  – procento opalu, který je dán způsobem ohřevu materiálu (0,5 – 3 %)

Hmotnost výronku je vypočtena dle objemu materiálu, kterým je zaplněn s předpokládaným stupněm můstek a zásobník. Zjednodušeně lze využít tabulka 6, která vychází z hmotnosti výkovku a tvarové složitosti a udává vhodný poměr hmotnosti polotovaru ' $m_0$ ' ku hmotnosti výkovku ' $m_v$ '. Tato tabulka má své rozšíření pro různé tvarové skupiny, avšak pro účel této bakalářské práce stačí zmínit pouze tvarovou skupinu 2, což jsou rotační tvary.



Tab. 6 Volba poměru  $m_0/m_v$  [20]

	$m_v$ [kg]					
<b>Tvarová skupina</b>	1	2,5	4	6,3	20	100
<b>2</b>	1,25	1,19	1,17	1,15	1,08	1,06

Kromě hmotnosti polotovaru musí být zvolen i přesný rozměr, který je získáván z objemu materiálu. Objem je možno vypočítat pomocí hustoty oceli a hmotnosti polotovaru (2.22):

$$V = \frac{m_0}{\rho} = S_p \cdot l = \frac{\pi \cdot D_t^2}{4} \cdot l \quad (2.22)$$

kde:  $V$  – objem polotovaru [ $\text{mm}^3$ ]

$\rho$  – hustota oceli [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]

$S_p$  – plocha podstavy válce polotovaru [ $\text{mm}^2$ ]

$l$  – délka polotovaru [mm]

$D_t$  – průměr polotovaru [mm]

Rozměry polotovaru jsou limitovány štíhlostí  $\lambda$ , která se musí nacházet v intervalu (1,5; 2,8), v jiném případě dochází k vybočení materiálu. Štíhlost je vypočítána ze vzorce (2.23).

$$\lambda = \frac{l}{D_t} \quad [-] \quad (2.23)$$

Polotovar je (vzhledem k ekonomické výhodnosti) kupován ve větším množství a v rozměrnějších kusech (např. šestimetrové tyče). Proto je nutné jej dělit na menší díly. Volba dělicího procesu je závislá na tom, jak přesné polotovary jsou požadovány a zda je důležité zachovat rovinnost ploch. Nejvhodnějšími dělicími způsoby jsou:

- Dělení řezáním – je prováděno na kotoučových, rámových nebo pásových pilách, které mohou být vybaveny NC řízením (obr. 23). Prořez materiálu je dán tloušťkou pilového pásu/kotouče. Touto metodou je dosahováno rovinných ploch s malou ztrátou materiálu. Jedná-li se o tvrdší materiály, je nutné je před řezáním vyžít, pro snížení tvrdosti.
- Dělení lámáním – jde-li o tvrdší materiál (např. materiál s pevností nad 600 MPa) je vhodné užít tento způsob přípravy polotovarů. U měkčích materiálů by docházelo pouze k jejich ohybu. Na začátku procesu je polotovar nahříván kyslíkoacetylenovým plamenem, který vytváří vrub, jímž dochází k usnadnění lomu z důvodu zúžení průřezu materiálu. Při tomto druhu dělení dochází k vyšší ztrátovosti materiálu, velkým nepřesnostem, co se týče rozměru i hmotnosti, případně i vnitřním vadám. Lámání je možné použít, následuje-li tváření za tepla.
- Stříhání – probíhá, působí-li na sebe dva protilehlé břity, mezi nimiž je střížná vůle. V důsledku toho vzniká povrch, na kterém prvotně dochází ke stříhání, následně pak k lomu materiálu. Stříhání může být prováděno jak za studena, tak za tepla. Ohřev na přibližně 700 °C je využíván u tvrdších polotovarů (nad 400 MPa) s větším průřezem.



Obr. 23 NC kotoučová pila [27]

Je-li požadován velmi přesný polotovar (např. u obrábění), nejvhodnější volbou je řezání materiálu. Není-li kladen důraz na kvalitu a přesnost polotovaru, je stříhání dostačující. Zejména pokud se jedná o kování, kterému předchází předkování. Výhodou stříhání jsou kratší výrobní časy a nižší náklady.

## 2.6 Ostřihování výronku [18], [20], [22], [28]

Při zápustkovém kování vzniká výronek a je-li předkovávána díra, pak i blána. Tyto elementy je třeba po dokončení výkovku odstranit. K ostřihování výronků a děrování slouží ostřihovací lisy (obr. 24). Tyto lisy mohou být užity k práci za studena i za tepla. Při ostřihování za tepla není potřeba tak vysoké síly, jako při ostřihování za studena. Může však docházet k deformacím výkovku. Deformace vznikají kvůli nerovnoměrnému rozložení teploty. Ta je ve výronku nejnižší, jelikož se jedná o nejtenčí část výkovku, a tudíž chladne nejrychleji. Ke znehodnocení výkovku dochází rovněž špatným vystředěním a volbou příliš velkého rádiusu v místě, kde tělo výkovku přechází v můstek apod. Ostřihování za tepla je také voleno, má-li být omezeno skladování neostřižených výkovků, které je nutné zajistit při ostřihování za studena, aby bylo docíleno stejné teploty těla i výronku. Vzhledem k tomu, že výkovek bude dále obráběn, nejsou požadavky na střížnou plochu tak náročné.

Potřebnou teoretickou sílu pro ostřihování lze vypočítat ze vzorce (2.24) dle V. Haška.

$$F_s = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot L \cdot 2h = 2,7 \cdot R_m \cdot L \cdot h \quad (2.24)$$

kde:  $R_m$  – mez pevnosti [MPa]

$L$  – obvod výkovku v místě ostřihování [mm]

Firma Šmeral uvádí upravený vztah pro ostřihování výronku a děrování (2.25).

$$F_s = 1,6 \cdot L \cdot s \cdot R_{m(t)} \quad (2.25)$$

kde:  $R_{m(t)}$  – mez pevnosti v tahu za studena (za tepla) [MPa]

Tvar rovnice je pro obě operace stejný, avšak má-li být vypočtena ostřihovací síla pro výronek, je za ' $L$ ' dosazován obvod kolem výkovku a za tloušťku ' $s$ ' hodnota pro výronek. Počítá-li se síla pro děrování, je za ' $L$ ' dosazován vnitřní obvod kolem blány a za ' $s$ ' tloušťka blány.

V praxi se využívá volba ostřihovacího lisu dle velikosti síly zvoleného kovacího lisu, případně dle energie úderu kovacího bucharu, jelikož ohřívací pec, kovací stroj a ostřihovací lis tvoří agregát na sobě závislý. Vztah mezi stroji je znázorněn v tabulce 7.

Tab. 7 orientační volba ostřihovacího lisu k výrobnímu stroji [20]

Využití ostřihovacích lisů se nabízí rovněž u kalibrovacích operací, stříhání tenkých plechů



Obr. 24 Ostřihovací lis [18]

kovací lis	buchar		ostřihovací lis
	hmotnost beranu [t]	energie úderu [kJ]	ostřihovací síla [MN]
3,15	0,2	4	0,5
6,3	0,4	10	1
10	0,75	15	1,25 – 1,6
16	1,5	30	2 – 2,5
20	2	40	3,15

a při mělkém tažení.

## 2.7 Tepelné zpracování po kování [29], [30]

Tepelné zpracování je užíváno pro cílenou změnu materiálových vlastností. Tato změna je prováděna zejména žíháním a zušlechťováním.

Žíháním má být docíleno snížení tvrdosti, a tím i usnadnění obrobiteľnosti, sjednocení struktury materiálu a snížení vnitřního pnutí, které by mohlo vést k deformacím výrobku. Žíhání je děleno na:

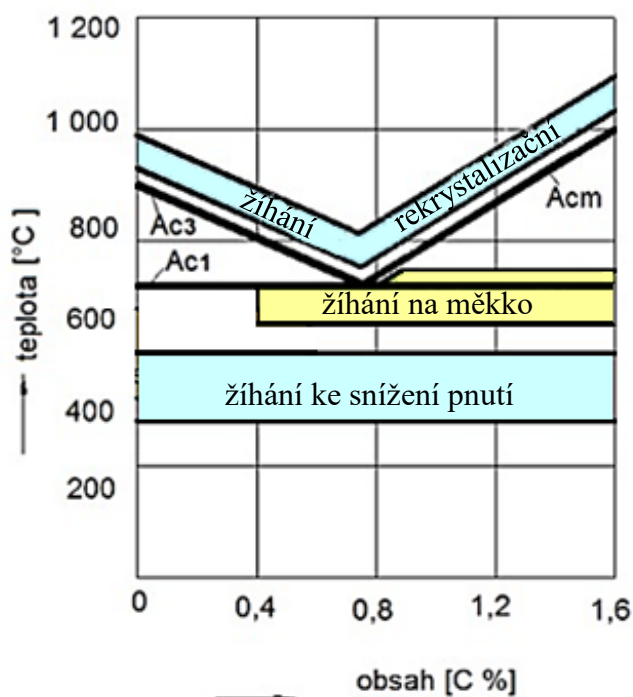
- normalizační – krátkodobý ohřev, který je až o 50 °C vyšší než nejnižší kovací teplota (obr. 25), ochlazování je prováděno na vzduchu. Dochází ke zjemnění zrna a sjednocení mechanických vlastností.
- ke snížení pnutí – je žíháno při teplotách okolo 600 °C po dobu několika hodin, chlazení probíhá v peci.
- žíhání na měkko – teploty se pohybují okolo 700 °C, ochlazování je pozvolné. Tím je zlepšena obrobiteľnosť.

Zušlechťování je vhodné použít u ocelí určených ke zušlechťování. Při tomto tepelném zpracování je ocel ohřáta na kalicí teplotu a následně ochlazována v oleji, ve vodě, případně na vzduchu. Po ochlazení je ocel popouštěna. Je dosahováno stejnoměrné pevnosti a houževnatosti v celém výkovku.

Kromě mechanických vlastností po dokování jsou řešeny okuje, které vznikly v průběhu kování na povrchu výkovku a zabraňovaly by dostatečné kontrole povrchu a dalšímu zpracování. Zbavení povrchu okují sestává z:

- moření
- otryskávání
- omílání

Tímto je výkovek připraven k prodeji.



Obr. 25 Zíhací teploty [30]

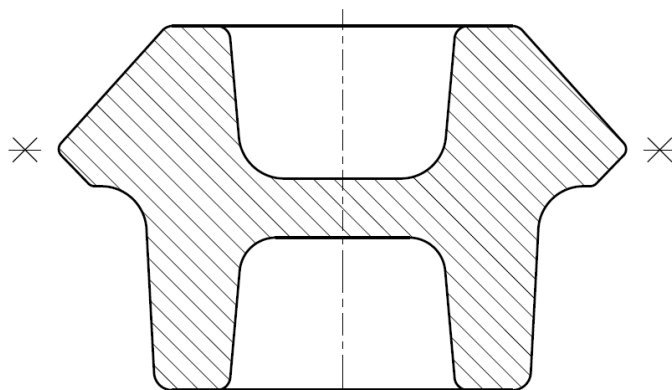
### 3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP S VÝPOČTY

V kapitole budou realizovány teoretické poznatky nabitě během literární studie otevřeného zápustkového kování. Výstupem bude výkres výkovku, výkresy nástrojů a návrh strojů pro všechny potřebné operace.

#### 3.1 Navržení výkovku [20]

Návrh výkovku sestává z:

- **Dělicí roviny** – je navrhována dle kapitoly 2.4.2 a znázorněna na obrázku 26. V tomto případě se jedná o dělicí rovinu přímou. Volba respektuje, že výkovek musí být jednoduše vyjímatelný z obou kusů zápustek a doporučení situování dělicí roviny v největším průměru výkovku.

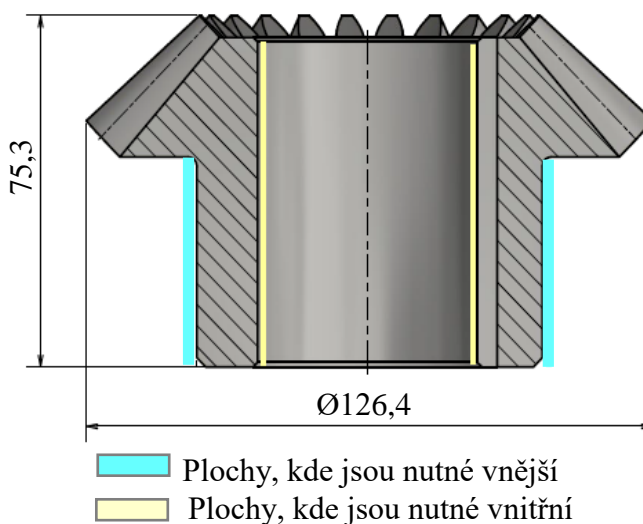


Obr. 26 Dělicí rovina

- **Přídavku na obrábění** – vzhledem k tomu, že výkovek nelze vykovat s požadovanými přesnostmi jak rozměrovými, tak povrchovými, je volen přídavek pro následné obrábění. Konkrétně se jedná o přídavek pro běžná vyhotovení. Při určování jeho hodnoty je vycházeno z největší šířky a největší výšky součásti (obr. 27). Výška 'h' se nachází v intervalu <63; 100> mm, průměr 'd' v intervalu <100; 160> mm, pro tyto hodnoty je určen přídavek na obrábění 2,5 mm.

- **Předkování blány** – je nutností pro otvor o průměru 50 mm. Tato blána by dle kapitoly 2.4.2 měla být optimálně situována v polovině výšky otvoru. Nejmenší tloušťka blány je určena z tabulky v příloze 4, a to opět dle ČSN 42 9030. Pro určení minimální tloušťky blány je nutné určit největší průměr ozubeného kola a jeho maximální výšku (obr. 27).

Výška 'h' se nachází v intervalu <63; 100> mm, průměr 'd' v intervalu <100; 160> mm. Z toho vyplývá, že nejmenší tloušťka blány je 13 mm.



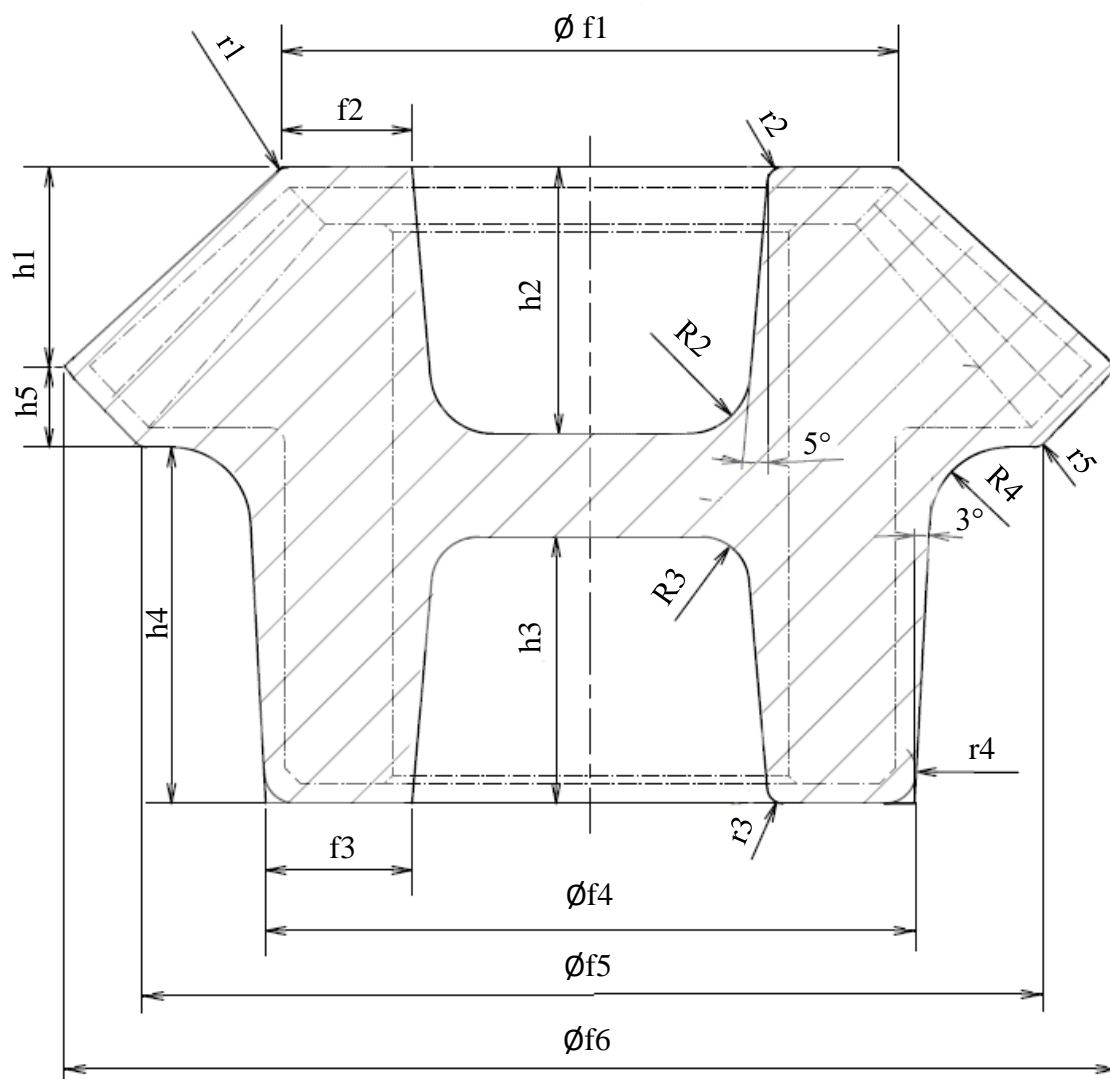
Obr. 27 Velikost a pozice úkosů

Výpočet kovací blány pomocí vzorce (2.14):

$$s = 0,45 \cdot \sqrt{50 - 0,25 \cdot 40,15} - 5 + 0,6 \cdot \sqrt{40,15} = 6,46 \text{ mm} \quad (2.14)$$

Tento výpočet neodpovídá nejmenší povolené tloušťce blány, proto pro návrh výkovku bude volena tabulková hodnota. Blána o správné tloušťce a poloze je vyvedena na obrázku 28.

- **Volby úkosů** – je prováděna z tabulky 3 (v této práci) dle normy ČSN 42 9030. Pro aplikaci tabulky je nutné určit, na jakém stroji bude daný výkovek vyráběn. V případě ozubeného kola z této bakalářské práce se jedná o svislý klikový lis s vyhazovačem. Doporučené úkosy jsou u vnějších ploch  $2^\circ - 3^\circ$  a u vnitřních ploch  $3^\circ - 5^\circ$ . Plochy, na kterých je nutné tyto úkosy realizovat jsou znázorněny na obr. 27. U vnitřních úkosů v díře je nutné si uvědomit, že díra bude předkovávána a bude v ní situována blána. Výsledné úkosy i s blánou jsou na obr. 28.
- **Zaoblení hran a přechodů** – je vycházeno z tabulky 4 v kapitole 2.4.2, pro jejíž užití je třeba určit poměr výšky úseku a k ní odpovídající šířky ozubeného kola a danou výšku zařadit do nabízených intervalů hodnot tabulky (obr. 29). Tímto je získána hodnota poloměru hrany (vnější poloměr), zde značený 'r' a poloměr přechodu ploch (vnitřní poloměr), značený 'R', viz tab. 8.



Obr. 28 Znázornění výšek a příslušných šířek pro poloměry hran

Příklad výpočtu pro první řádek:

Výška  $h_1 = 25$  mm, náleží do intervalu (25;40) mm, šířka  $f_1 = 77,8$  mm

Poměr  $\frac{h_1}{f_1} = \frac{25}{77,8} = 0,32 \rightarrow 0,32 \leq 2$

Výška h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		$h/f \leq 2$		$2 < h/f \leq 4$		$h/f > 4$	
od	do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25

Obr. 29 Ukázka práce s tabulkou 3 [20]

Tab. 8 Výpočet poloměrů pro zadané ozubené kolo

poloměr	výška $h_i$ [mm]	šířka $f_i$ [mm]	poměr $h_i/f_i$	poloměr hrany $r_i$ [mm]	poloměr přechodu ploch $R_i$ [mm]
1	25,0	77,8	0,32	3	8
2	33,7	16,4	2,06	3	10
3	33,7	18,5	1,82	3	8
4	45,0	83,0	0,54	4	10
5	10,0	113,3	0,09	2	6

- **Mezní úchytky a tolerance rozměrů** – výkovek je zařazen dle normy ČSN 42 9030 jako kruhový výkovek dutý, kuželovitý, který má výšku menší než šířku. Současně výška kuželové části nad blánou je více než dvakrát větší oproti šířce blány. Tím je získána tvarová složitost druhu 5, tvarová třída 2 a tvarová skupina 2. Má-li být výkovek kován v obvyklém provedení, je tvarová přesnost pro kolmost stupně 5 a pro rovnoběžnost stupně 6.

Z tabulky 10 v normě ČSN 42 9030 pro stupeň přesnosti 5 a dané rozměry jsou mezní úchytky  $\frac{+1,4}{-0,6}$  a tolerance 2 mm. Pro stupeň přesnosti 6 jsou určeny úchytky  $\frac{+2,1}{-1,1}$  a tolerance 3,2 mm. Mezní úchytky zaoblení přechodů a hran jsou dány jako násobek mezních úchylek. Všechny poloměry výkovku se nacházejí v intervalu do 10 mm, proto pro poloměry 'R' jsou mezní úchytky  $\frac{+0,50}{-0,25} \cdot R$  a pro poloměry 'r' pak  $\frac{+0,25}{-0,50} \cdot r$ .



### 3.2 Návrh výronkové drážky [23]

Výronková drážka může být vypočtena dvěma způsoby:

a) podle vzorce

$$S_D = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 132,5^2}{4} = 13788,6 \text{ mm}^2$$

$$h = 0,015 \cdot \sqrt{13788,6} = 1,76 \text{ mm} \quad (2.15)$$

Šířka můstku:

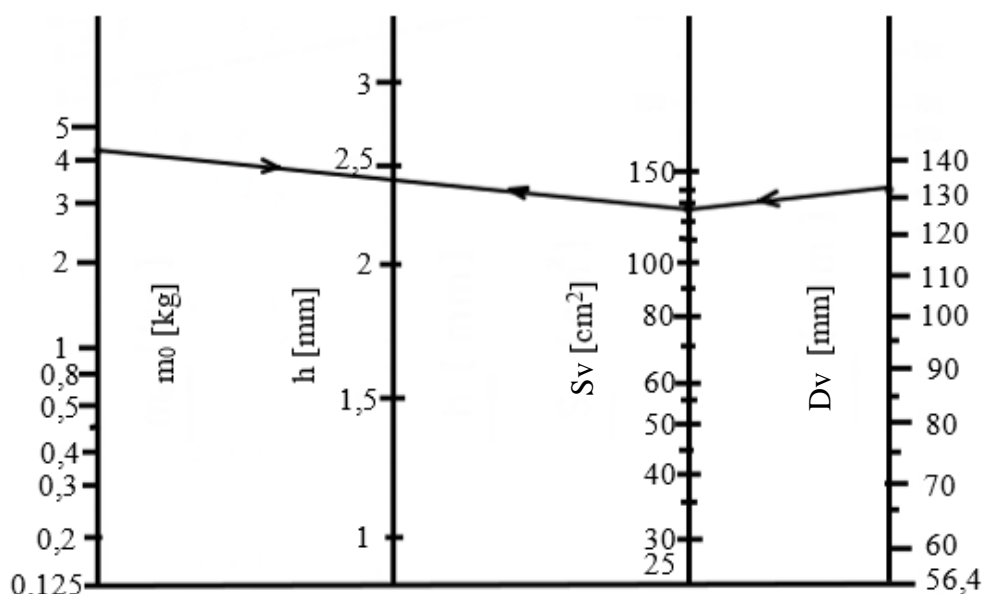
$$b = 3 \cdot 1,76 = 5,28 \text{ mm} \quad (2.16)$$

Hloubka zásobníku:

$$n = 0,4 \cdot 1,76 + 2 = 2,7 \text{ mm} \quad (2.17)$$

Šířka můstku byla počítána jako trojnásobek výšky, tudíž platí nerovnost  $\frac{b}{h} \leq 3$ .

b) z nomogramu – (obr. 30) zde je zapotřebí znát největší průřez výkovku 'D<sub>v</sub>', plochu tohoto průřezu 'S<sub>v</sub>' (bez započtení můstku výronkové drážky) a hmotnost polotovaru 'm<sub>0</sub>'.



Obr. 30 Výřez z nomogramu dle ČSN 22 8306 [23]

$$D_v = 132,5 \text{ mm}$$

$$S_v = \frac{\pi \cdot D_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot 132,5^2}{4} = 13789 \text{ mm}^2 = 138 \text{ cm}^2$$

$$m_0 = 4,3 \text{ kg}$$

Výška určená díky nomogramu je  $h = 2,4 \text{ mm}$ , lze zaokrouhlit na  $2,5 \text{ mm}$ . Šířka je následně vypočtena z poměru  $\frac{b}{h} \leq 3$  (2.15), tento poměr je zvolen rovný 2. Tudíž:

$$\frac{b}{h} = 2 \rightarrow b = 2 \cdot h = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ mm} \quad (2.16)$$

$$n = 0,4 \cdot h + 2 = 0,4 \cdot 2,5 + 2 = 3 \text{ mm} \quad (2.17)$$

Pro konstrukci budou voleny hodnoty vypočtené díky užití nomogramu.

Normou je dána tabulka, která udává rozmezí hodnot výšky 'h', šířky můstku 'b' a malého zaoblení 'r'. Hodnoty budou zkontrolovány po volbě kovacího lisu, na níž rozměry závisí.

### 3.3 Volba polotovaru a následné manipulace [20], [25], [31], [32]

Pro výpočet hmotnosti polotovaru je zapotřebí znát hmotnost výkovku. V tomto případě byl použit software Inventor 2019 od firmy Autodesk, kde byl výkovek s přídavky vymodelován. Následně mu byla přiřazena správná hustota materiálu a na základě těchto vlastností byla automaticky vypočtena jeho hmotnost (obr. 31).

$$m_v = 3,648 \text{ kg}$$

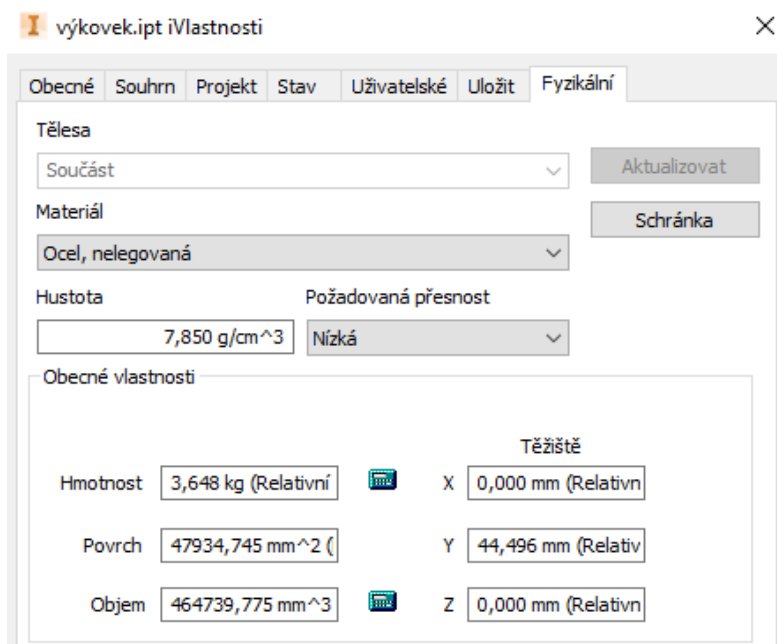
Jelikož nelze přesně zjistit předpokládané zaplnění výronkové drážky a procento opalu, je vycházeno z tabulky 4, kde je díky hmotnosti výkovku odečten vhodný poměr mezi  $m_0$  a  $m_v$ , a to je hodnota 1,17. Pak:

$$\frac{m_0}{m_v} = 1,17$$

$$m_0 = 1,17 \cdot G_v$$

$$m_0 = 4,27 \text{ kg} = 4270 \text{ g}$$

Pro výpočet rozměrů polotovaru je zapotřebí stanovit objem polotovaru, ze kterého lze vypočítat konkrétní rozměry výška x délka.



Obr. 31 Ukázka výpočtu v softwaru Inventor [31]

$$V = \frac{m_0}{\rho} = \frac{4270}{7,850} = 543,95 \text{ cm}^3 \quad (2.22)$$

Firma Feron, a.s. nabízí pro materiál C45E normalizované rozměry tyče o průměru od 30 mm do 300 mm se změnou průměru 5 mm (př.: 30, 35, 40... mm). Je třeba zvolit průměr tyče menší než 132,5 mm, což je průměr výkovku. Pro zvolené průměry bude určena délka polotovaru a vypočteno procentuální využití tyče, aby byla zabezpečena nejvýhodnější volba.

$$V = S_p \cdot l = \frac{\pi \cdot D_t^2}{4} \cdot l = 543,95 \text{ cm}^3, \text{ pak } l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_t^2} \quad (2.22)$$

Poměr délky tyče k jejímu průměru musí spadat do intervalu štíhlosti (1,5; 2,8), proto jsou zvolené průměry a vypočtené délky kontrolovány podle vzorce (2.22).

Příklad výpočtu pro průměr 65 mm:

$$l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_t^2} = \frac{4 \cdot 543950}{\pi \cdot 65^2} = 164 \text{ mm} \quad (2.22)$$

$$\lambda = \frac{l}{D_t} = \frac{164}{65} = 2,5 \quad (2.23)$$

$\lambda = 2,5 \in (1,5; 2,8)$ , proto je políčko tabulky vybarveno zeleně.

$$\text{Počet celých kusů, které lze vyrobit ze 6m tyče} = \frac{6000}{164} = 36,5 = 36 \text{ ks}$$

$$\text{Procentuální využití: } \frac{ks \cdot l}{6000} \cdot 100 = \frac{36 \cdot 164}{6000} \cdot 100 = 98,4 \%$$



Vypočítané hodnoty pro různou velikost průměrů jsou v tabulce 9.

Tab. 9 Výpočty pro  $\Delta D$

průměr D [mm]	délka l [mm]	štíhlost $\lambda$ [-]	využití 6m tyče [%]
100	69,3	0,7	-
50	277,2	5,5	-
65	164	2,5	98,4
70	141,4	2	98,99
75	123,19	1,6	98,55

Nejlepší procentuální využití tyče je získáno, je-li jako polotovar zvolen průměr 70 mm, který s rezervou spadá do intervalu požadované štíhlosti. Avšak konečná volba polotovaru bude provedena až na základě zvoleného stroje pro dělení materiálu.

### 3.3.1 Dělení a ohřev polotovaru [15], [26], [33], [34]

Nejvhodnější metodou dělení materiálu pro kování je stříhání, při kterém nevzniká odpad z prořezu materiálu. Stříhání je ekonomické a také velmi produktivní.

Vypočtený polotovar má průměr od 65 - 75 mm, což je hodnota, která se ukazuje jako problematická, protože většina strojních nůžek má rozsah do 50 mm. Výjimkou je firma Stürmer maschinen a stroj z řady Metallkraft HPS 175 DS. Jedná se o multifunkční hydraulické zařízení, které je určeno nejen pro dělení profilů a plechů, ale také k děrování a vystřihování, což je zohledněno v pořizovací ceně stroje (viz tab. 10 a obr. 32).

Tab. 10 Technické parametry zařízení HPS 175 DS [33]

Hlavní motor [kW]	11
Délka nože [mm]	610
Maximální pracovní výška [mm]	1130
Maximální rozměry stroje [mm]	2730 x 1150 x 2280
Hmotnost [t]	6
Průřez (90°) [mm]	65
	200 x 200 x 15
	50
Cena [Kč]	1 200 000



Obr. 32 X HPS 175 DS [33]

Při počtu 80 000 kusů polotovarů ročně je třeba zvážit možnost automatizace procesu. Pro stroj HPS 175 DS není výrobcem nabízena možnost NC nebo CNC řízení. Provoz stroje se tak prodraží o neustálou obsluhu dělníkem. Řešení se nabízí v podobě NC pásové pily na kov ARG 260 CF značky Pilous (viz tab. 11 a obr. 33). Výhodou pily je kromě NC řízení i mnohonásobně nižší pořizovací cena.

Tab. 11 Technické parametry pily ARG 260 CR [34]

Hlavní motor [V, Hz, kW]	400, 50, 2,2
Rychlost pásu [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	15 – 90
Pracovní výška svěráku [mm]	830
Rychlost posuvu materiálu [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	1,6 / 2,5 / 3
Maximální rozměry stroje [mm]	1800 x 2150 x 1650
Hmotnost [kg]	740
Průřez (90°) [mm]	260
	245
	245 x 250
Pilový pás [mm]	27 x 0,9
Cena [Kč]	317 000



Obr. 33 ARG 260 CF [34]

Tab. 12 Ekonomické zhodnocení volby polotovaru

D [mm]	l [mm]	pol. [ks]	tyčí [ks]	celková délka pol. [mm]	zbytek [mm]	prořez + upnutí [mm]	$\Sigma$ [mm]
<b>65</b>	164	36	2223	5904	96	82	14
<b>70</b>	142	42	1905	5964	36	88	-52
<b>75</b>	123,5	48	1667	5928	72	93	-21

V případě strojních nůžek je možné realizovat stříhání polotovaru o průměru pouze 65 mm. U řezání na vybrané pile není průměr v rozsahu 65 až 75 mm striktně omezen. Avšak je zapotřebí si uvědomit, že šířka prořezu materiálu je rovna šířce pásu a také, že materiál musí být v automatu za něco upnut (cca 50 mm). Tyto předpoklady byly využity pro výpočty v tab. 12. Z tabulky 12 vyplývá, že ač se průměr 70 mm jevil jako nejekonomičtější z hlediska využití materiálu, po přihlédnutí ke způsobu dělení řezáním bylo zjištěno, že by na tyči chybělo přibližně 52 mm (na prořez a upnutí posledního kusu). Poslední polotovar by bylo možné pro zajištění upnutí otáčet, ale při celkovém počtu cca 2000 tyčí ročně se toto řešení nejeví jako časově ekonomické. Do programu by muselo být ručně zasahováno, což by přinášelo zvýšené náklady na obsluhu stroje.

Po zvážení kladů a záporů obou metod dělení bylo finální metodou výroby polotovaru zvoleno řezání na NC pásové pile ARG 260 CR. Pro výrobu polotovarů je zvolena tyč průměru 65 mm, která bude dělena po 164 mm.

Nejvhodnějším způsobem ohřevu materiálu pro kování je indukční ohřev, při němž je vytvářeno nejmenší procento okují.

Polotovarem byl vypočten válec (odřezek z tyče) o průměru 65 mm. Tento průměr je v tabulce 2 (doporučené frekvence) z kapitoly 2.2 přiřazen k rozmezí průměrů 50 až 140 mm. Bylo by možné zvolit i rozmezí 65 až 180 mm, kde však průměr polotovaru tvoří krajní hodnotu intervalu. Pro zvolený interval se frekvence pohybuje kolem 1000 Hz.

V katalogu firmy Roboterm Chotěboř (ze které je i tabulka doporučených frekvencí) byl zvolen kompaktní středofrekvenční ohřívач KSO 630/2,1-C55, který dosahuje požadovaného kmitočtu pro daný rozměr polotovaru (obr. 34). Technické parametry stroje jsou v příloze 5.



Obr. 34 Ohřívач KSO 630/2,1-C55 [15]

Ohřívач je postaven ze tří základních modulů - vstupního, ohřívacího a výstupního. Tento typ ohřívачe již obsahuje tyristorový měnič kmitočtu, který by k jiným typům strojů musel být dále dokupován a separátně montován. Obsluha ohřívачe může být realizována automaticky, ale i ručně, jsou-li přířezy příliš krátké pro jejich správnou orientaci na vibračním zásobníku. Stroj dokáže sám vyhodnotit nedokonalé ohřáté polotovary, které je schopný vytržít.

### 3.4 Kovací a ostříhovací stroj

Pro volbu kovacího stroje je nutné mít navrženou výronkovou drážku, se kterou je počítáno v průmětu plochy, což je jedna z hodnot pro výpočet kovací síly. Dále je počítána samotná kovací síla, z níž lze určit kovací stroj. Na základě této volby je určen i ostříhovací lis.

#### 3.4.1 Výpočet kovací síly [10], [11], [23]

Kovací sílu je možné vypočítat:

##### a) Výpočtem podle ČSN 22 8306

Průmět plochy výkovku:

$$D_c = D_v + 2 \cdot b = 132,5 + 2 \cdot 5 = 142,5 \text{ mm} = 14,25 \text{ cm}$$

$$S_c = \frac{\pi \cdot D_c^2}{4} = \frac{\pi \cdot 14,25^2}{4} = 159,5 \text{ cm}^2 = 15950 \text{ mm}^2$$

Součást je tvarově zařazena mezi kruhové součástky s dutým otvorem, součinitel tvarové složitosti je  $K_{TS} = 5$ .

Z výňatku z tabulky dle normy ČSN 22 8306 (tab. 13) je možné zjistit přetvárnou pevnost ' $k_p$ ' pro konkrétní kovací teploty. Tyto teploty se pro materiál 12 050 nachází v rozmezí 850 – 1150 °C. Největší přetvárná pevnost náleží nejnižší kovací teplotě. Z bezpečnostních důvodů by měla být volena pevnost vyšší, aby nedocházelo k nedokování z důvodu chladnutí výkovku a nedostatečné síly lisu.

Tab. 13 Přetvárná pevnost pro materiál 12 050 (C45E) [23]

	Kovací teplota [°C]					
12 050	900	950	1000	1050	1100	1150
$k_p$ [MPa]	149	128	108	91	80	71

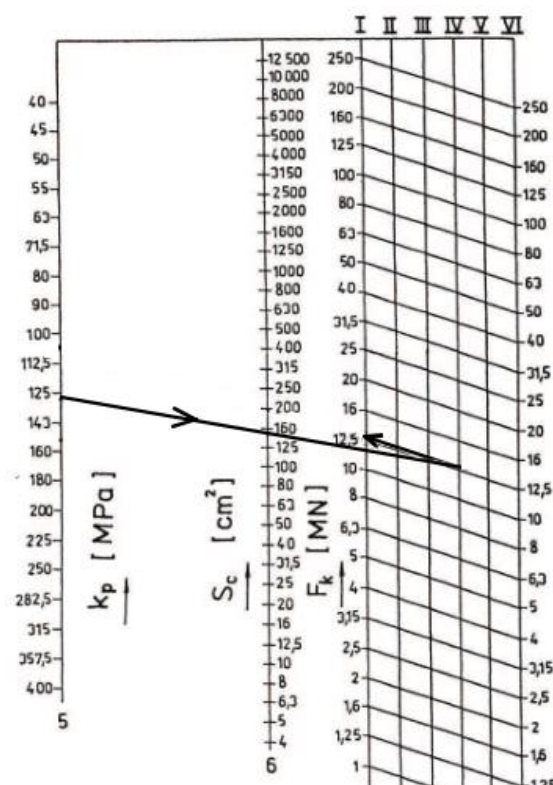
$$k_o = 128 \cdot 5 \quad (2.13)$$

$$k_o = 640 \text{ MPa}$$

$$F = 15950 \cdot 640 = 10\,208\,000 \text{ N} = 10,2 \text{ MN} \quad (2.12)$$

##### b) Výpočtem z nomogramu

Hodnoty  $k_p = 128 \text{ MPa}$  a  $S_c = 157,7 \text{ cm}^2$  jsou vyneseny v nomogramu a následně spojeny tak, aby jejich spojnice protнула svislé linie tvarových složitostí. Tvarem se výkovek nejvíce blíží tvarové složitosti stupně 3, což jsou součásti s vysokým stupněm členitosti. Z něj pak vede linie rovnoběžná s čarami hodnot kovacích sil. Tímto způsobem byla odečtena přibližná hodnota kovací síly  $F = 13,7 \text{ MPa}$ , což téměř odpovídá vypočtené hodnotě podle vztahu (2.12). Postup odečítání je znázorněn na obrázku 35.



Obr. 35 Práce s nomogramem [23]

### c) Výpočet síly podle Tomlenova

Pro výpočet síly dle Tomlenova je zapotřebí stanovit kovací teplotu, součinitel  $C_0$  a pevnost za kovací teploty. Kování bude probíhat při teplotě 950 °C. Hmotnost polotovaru  $m_0 = 4,27$  kg, což náleží do intervalu hmotností „do 5 kg“ v tabulce 3 z normy ČSN 22 8306. Z toho vyplývá, že součinitel  $C_0$  se pro ocel pohybuje v rozmezí 4 až 5 a teplota výronku nabývá 750 – 850 °C. Pevnost za kovací teploty ( $R_{mT}$ ) 950 °C je pro ocel 12 050 (C45E)  $R_{mT} = 67$  MPa.

$$\sigma_s = 67 \cdot 5 = 205 \text{ MPa} \quad (2.9)$$

$$\psi = 1 + 0,73 \cdot 0,4 = 1,29 \quad (2.10)$$

$$\sigma_0 = 1,29 \cdot 205 = 264,5 \text{ MPa} \quad (2.8)$$

$$\sigma_1 = 264,5 + 205 \cdot \frac{5}{2,5} = 674,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 674,5 + 67 \cdot \frac{6,7}{16,9} = 701 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = 701 + 67 \cdot \frac{12,2}{80} = 711,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4 = 711,2 + 67 \cdot \frac{20,6}{80} = 728,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_5 = 728,5 + 67 \cdot \frac{22,7}{13} = 845,5 \text{ MPa}$$

Vypočtená napětí jsou vynesena v obrázku 36. Dílčí výpočty pro výpočet jednotlivých složek síly jsou uvedeny v tabulce 14.

Tab. 14 Dílčí výpočty

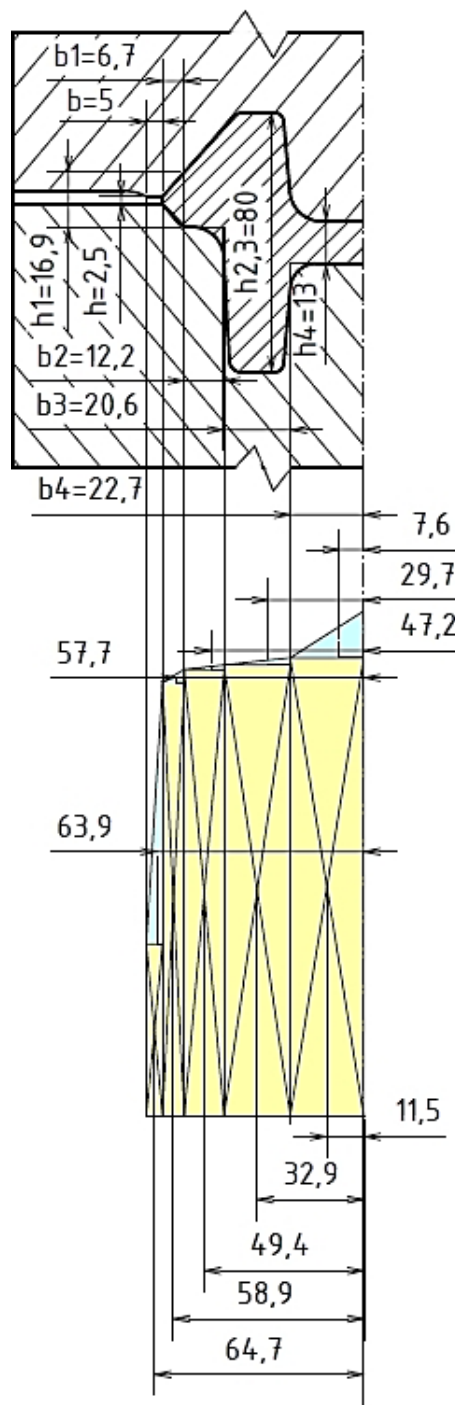
Plocha	$A_i$ [mm·MPa]	$x_i$ [mm]	$A_i \cdot x_i$ [N]
1	$5 \cdot 264,5$	64,7	85565,8
2	$6,7 \cdot 701$	58,9	276635,6
3	$12,2 \cdot 711,2$	49,4	428626
4	$20,6 \cdot 728,5$	32,9	493733,6
5	$22,7 \cdot 845,5$	11,5	220717,8
6	$(2,5 \cdot 410) / 2$	63,9	32748,8
7	$(3,35 \cdot 26,5) / 2$	57,7	2561,2
8	$(6,1 \cdot 9,8) / 2$	47,2	1410,8
9	$(10,3 \cdot 17,3) / 2$	29,7	2646,1
10	$(11,35 \cdot 117) / 2$	7,6	5046,2
$\Sigma$			1549691,9

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot 1549691,9 = 9737001,4 \text{ N} \quad (2.4)$$

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot S' = \frac{67}{2} \cdot \pi \cdot (33,7 \cdot 45 + 66,25 \cdot 32,7) = 387598 \text{ N} \quad (2.6)$$

$$F = F_N + F_T = 9737001,4 + 387598 = 10124599,4 \cong 10,1 \text{ MN}$$

Výpočet podle Tomlenova dokládá správnost výpočtu dle ČSN 22 8306. Tyto výpočty se liší pouze o jednu desetinu MN.



Obr. 36 Nárůst normálových napětí



### 3.4.2 Volba kovacího stroje [18], [23]

Pro kovací operace je volen lis. Síla potřebná k dokování výkovku se pro různé způsoby výpočtu pohybuje od 10,1 MN do 13,7 MN (viz tab. 14).

Tab. 15 Kovací síly

Způsob výpočtu	Kovací síla [MN]
ČSN 22 8306	10,2
Nomogram	13,7
Výpočet dle Tomlenova	10,1

V katalogu firmy Šmeral by pro tyto účely vyhovovaly svislé kovací lisy, které disponují tvářecí silou od 10 MN do 65 MN. Pro ozubené kolo lze reálně uvažovat o stroji se silou 10 MN, případně 16 MN. Jelikož ale tvářecí síla pro různé způsoby výpočtů stoupala až k 14 MN, je vhodnější zvolit stroj o síle 16 MN. Tento stroj lze pořídit ve dvou typových řadách, a to LZK a LMZ. Řada LMZ užívá rozšířených upínacích ploch pro stoly a berany, výkonově se neliší (viz tab. 16 a 17 a obr. 37 a 38).

Tab.16 Technické parametry LZK 1600 P/SH [18]

Tvářecí síla [MN]	16
Sevření [mm]	760
Průchod [mm]	1230
Upínací plocha stolu [mm]	1180 x 1120
Upínací plocha beranu [mm]	1138 x 920
Hydraulické přestavování beranu [mm]	10
Zdvih/počet zdvih [mm/min <sup>-1</sup> ]	280/85
Celkový instalovaný výkon [kW]	85
Rozměry stroje v x š x h [m]	5,5 x 2,9 x 3



Obr. 37 LZK 1600 P/SH [18]

Tab.17 Technické parametry LMZ 1600 A/S [18]

Tvářecí síla [MN]	16
Sevření [mm]	800
Průchod [mm]	1290
Upínací plocha stolu [mm]	1240 x 1150
Upínací plocha beranu [mm]	1160 x 1035
Hydraulické přestavování beranu [mm]	10
Zdvih/počet zdvih [mm/min <sup>-1</sup> ]	270/85
Celkový instalovaný výkon [kW]	85
Rozměry stroje v x š x h [m]	5,8 x 3,2 x 3,7



Obr. 38 LMZ 1600 A/S [18]

#### Kontrola rozměrů výronkové drážky

Tato kontrola je prováděna po volbě kovacího stroje, z níž se v tabulce 18 dle normy ČSN 22 8306 vychází.

Tab. 18 Doporučené rozměry výronkové drážky pro vybraný stroj [23]

Síla lisu [MN]	h [mm]	b [mm]	r [mm]
16	2 až 3	5 až 8	1,5 až 2,5

Volba rozměrů vypočtených z nomogramu byla správná, v případě volby rozměrů, které byly vypočteny na základě vzorce (2.14), by výška 'h' byla nedostatečná.

### 3.4.3 Volba ostříhovacího lisu [18], [20]

Ke kovacímu stroji o tvářecí síle 16 MN je přiřazen dle tabulky 5 z kapitoly 2.7 ostříhovací lis o ostříhovací síle 2 až 2,5 MN. Tomuto kritériu odpovídá pro značku Šmeral jediný stroj, a to ostříhovací lis LKOA 200 (obr. 39) s technickými parametry viz tabulka 19.

Tab. 19 Technické parametry LKOA 200 [18]

Tvářecí síla [kN]	2000
Sevření [mm]	585
Průchod [mm]	1420
Upínací plocha stolu [mm]	1415 x 1000
Upínací plocha beranu [mm]	1200 x 800
Přestavování beranu [mm]	100
Zdvih/počet zdvih [mm/min <sup>-1</sup> ]	210/55
Celkový instalovaný výkon [kW]	18
Rozměry stroje v x š x h [m]	4,1 x 2,3 x 2,2

Má-li být síla stroje podložena výpočetně, bude užít vzorec (2.25), pro:

$$R_m = 560 \text{ MPa}$$

$$D = 132,5 \text{ mm}$$

$$L = \pi \cdot D = \pi \cdot 132,5 = 416,26 \text{ mm}$$

$$F_s = 2,7 \cdot 560 \cdot 416,26 \cdot 2,5 = 1573463 \text{ N} = 1573 \text{ kN}$$

Ostříhovací síla výpočetně vychází menší, ale proto, aby nedocházelo k nedostřihnutí, mělo by být počítáno s jistou bezpečností. V katalogu firmy je stroj LKOA 200 nejslabším strojem své kategorie.



Obr. 39 LKOA 200 [18]

### 3.4.4 Návrh zápustek [23]

Pro tříoperační proces kování je zapotřebí navrhnout tři zápustkové dutiny. V první operaci dochází pouze k odstranění okují a napěchování materiálu. Druhá dutina má za cíl polotovar tvarově vymezit tak, aby byl jednoznačně a přesně zaveden do zápustky třetí, dokovací. Rozměry předkovacích zápustek nemusí být přesně definovány a tolerovány. Jejich tvar je pouze přibližný.

V poslední zápustce bude vznikat výsledný výkovek s výronkem. Dokovací dutina je dána tvarem výkovku s přihlédnutím k velikosti přídatku na smrštění (běžné oceli 1 %) a opal. Veškerým rozměrům jsou stanoveny mezní úchytky. Plochám je určena drsnost. Vyhazovač je konstruován v dolní dokončovací zápustce. Sestává ze tří kolíkových vyhazovačů, které jsou pootočené o 120 ° (výkres BP-05-183383). Výkres dokovací zápustky BP-04-183383 je v přílohách.

Tvar a upínací rozměry zápustek udává velikost jejich upínače. Ta je stanovena na základě použitého kovacího lisu. Jelikož je kována rotační součást, mohou být z důvodu úspory materiálu použity zápustky kruhového tvaru.

Při kování je užíváno mazadla, jímž je olej s grafitem.

Materiál zápustek je volen dle ČSN 22 8306. Konkrétně je použit materiál 19 556, který je vhodný pro vysoce výkonné, převážně členitější zápustky a pro velké série výkovků.

#### 4 Technicko-ekonomické zhodnocení [32], [36], [37], [38]

Cílem jakékoliv výroby je tvořit zisk. Proto při návrhu nové výroby je vhodné zhotovit technicko-ekonomické zhodnocení pro porovnání nákladů na výrobu. V tomto případě konkrétně srovnání výroby a) kování s případným obráběním a b) obráběním.

##### a) Výroba součásti kování (+ následné obrábění)

Cena materiálu polotovaru pro kování je vypočtena na základě počtu tyčí (tab. 12), respektive jejich celkové délky a ceny za metr oceli C45E.

- Potřebný počet tyčí:  $N_k = 2223 \text{ ks} \text{ á } 6 \text{ m}$
- Celková délka potřebných tyčí:  $l_c = N_k \cdot 6 = 13338 \text{ m}$

Cena za metr není na webových stránkách firmy Feron, a.s. zveřejněna, avšak po zadání požadovaných metrů pro výrobu byla firmou tato „objednávka“ naceněna na 12 336 636 Kč s DPH (obr 40).

Kód a název produktu	Množství	Cena celkem
331960H Tyč ocelová kruhová válcovaná za tepla, EN 10060, průměr 65 Požadován atest: Ne	13338 m	10 195 567,20 Kč
Sběrná služba		podle ceníku
Cena celkem bez DPH		10 195 567,20 Kč
DPH 21 %		2 141 069,11 Kč
Cena celkem včetně DPH		<b>12 336 636,00 Kč</b>

Obr. 40 Nacenění požadovaného množství polotovaru [32]

Dělením materiálu a jeho následným obráběním je vytvářen kovový odpad ve formě odřezků a třísek, které je možné buďto dále zpracovat, nebo vrátit do sběrného dvora. Kovárna se zabývá pouze dělením materiálu.

Na webových stránkách sběrného dvora, konkrétně byla vybrána firma Barko, byl vyhledán aktuální ceník vratných surovin. Výkupní cena kilogramu nového železného šrotu je dána 4 Kč. Ocelové třísky jsou pak vykupovány za 1,80 Kč/kg.

Množství odpadu z tyčových polotovarů:

V tabulce O. byl odpad z každé tyče stanoven na délku 13,6 mm + 50 mm na upnutí + 36 · 0,9 mm na prořez, který se změní v třísky.

$$l_{od} = 13,6 + 50 + 36 \cdot 0,9 = 96 \text{ mm}$$

Celkový odpad na jednu tyč tvoří 96 mm, z čehož je 32,4 mm délky tvořeno třískami, které je od celistvého materiálu vzhledem k rozdílnosti ceny výkupu nutno oddělit.

Celistvý materiál tvoří délku:

$$l_s = l_{od} - l_t = 96 - 32,4 = 63,6 \text{ mm}$$

Hmotnost pevného odpadu je počítána z objemu a hustoty materiálu:

$$V_s = l_s \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 63,6 \cdot \frac{\pi \cdot 65^2}{4} = 210274 \text{ mm}^3 = 210,274 \text{ cm}^3$$

$$m_s = V_s \cdot \rho = 210,274 \cdot 7,850 = 1650,651 \text{ g}$$

$$m_{sc} = m_s \cdot N = 1650,651 \cdot 2223 = 3669397,2 \text{ g} = 3669,4 \text{ kg}$$

Investiční návrat za pevný odpad, kdy 1 kg = 4 Kč:

$$n_s = m_{sc} \cdot N \cdot 4 = 3669,4 \cdot 4 = \mathbf{14\,724\,Kč}$$

Hmotnost třísek z tyče:

$$\begin{aligned} \blacksquare V_t &= l_t \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 32,4 \cdot \frac{\pi \cdot 65^2}{4} = 107458,7 \text{ mm}^3 = 107,459 \text{ cm}^3 \\ \blacksquare m_t &= V_t \cdot \rho = 107,459 \cdot 7,850 = 843,55 \text{ g} \\ \blacksquare m_{tc} &= m_t \cdot N = 843,55 \cdot 2223 = 1875213 \text{ g} = 1875,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

Investiční návrat za odpad ve formě třísek, kdy 1 kg = 1,80 Kč:

$$\blacksquare n_t = m_{tc} \cdot 1,8 = 1875,2 \cdot 1,8 = \mathbf{3\,375 \text{ Kč}}$$

Tab. 20 Souhrnná tabulka vratného materiálu kování

Druh odpadu	Množství [kg]	Návrat [Kč]
Odřezky z tyčí	3669,4	14724
Třísky z prořezu	1875,2	3375
<b>Celkem</b>	<b>5544,6</b>	<b>18099</b>

Kovárna zabezpečuje zejména kování výkovků, které dále prodává, avšak pokud by byly výkovky obráběny, hmotnost jejich odpadu a cena za vrácený materiál by byla:

$$\begin{aligned} \blacksquare m_{to} &= m_{výk} - m_s = 3,648 - 2,168 = 1,48 \text{ kg} \\ \blacksquare m_{tco} &= m_{to} \cdot N = 1,48 \cdot 80000 = 118400 \text{ kg} \end{aligned}$$

Investiční návrat za odpad ve formě třísek z obrábění po kování, kdy 1 kg = 1,80 Kč:

$$\blacksquare n_{to} = m_{tco} \cdot 1,8 = 118400 \cdot 1,8 = \mathbf{213\,120 \text{ Kč}}$$

Cenu výrobku tvoří také mzdy.

Mzdy dělníků potřebné pro výrobu kováním:

$$\begin{aligned} \blacksquare 1 \text{ ks součásti je kován } t_{kk} &= 5 \text{ min} \\ \blacksquare \text{Mzda dělníka na hodinu } e &= 150 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1} \\ \blacksquare \text{Mzda potřebná na 1 ks: } M_k &= \frac{t_{kk}}{60} \cdot e = \frac{5}{60} \cdot 150 = 12,5 \text{ Kč} \\ \blacksquare \text{Mzda potřebná na celou sérii: } M_{sk} &= M_k \cdot N = 12,5 \cdot 80000 = \mathbf{1\,000\,000 \text{ Kč}} \end{aligned}$$

Dílenská režie je vyčíslena na 650 % mezd dělníků potřebných na výrobu celé série:

$$\blacksquare R_{dk} = 6,5 \cdot M_{sk} = 6,5 \cdot 1000000 = \mathbf{6\,500\,000 \text{ Kč}}$$

Podniková režie je vyčíslena na 200 % mezd dělníků potřebných na výrobu celé série:

$$\blacksquare R_{pk} = 2 \cdot M_{sk} = 2 \cdot 1000000 = \mathbf{2\,000\,000 \text{ Kč}}$$

Mzdy dělníků potřebné pro výrobu obráběním, které následuje po kování:

$$\begin{aligned} \blacksquare 1 \text{ ks součásti je obráběn } t_{ko} &= 12 \text{ min} \\ \blacksquare \text{Mzda dělníka na hodinu } e &= 150 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1} \\ \blacksquare \text{Mzda potřebná na 1 ks: } M_o &= \frac{t_{ko}}{60} \cdot e = \frac{12}{60} \cdot 150 = 30 \text{ Kč} \\ \blacksquare \text{Mzda potřebná na celou sérii: } M_{so} &= M_o \cdot N = 30 \cdot 80000 = \mathbf{2\,400\,000 \text{ Kč}} \end{aligned}$$

Dílenská režie je vyčíslena na 650 % mezd dělníků potřebných na výrobu celé série:

$$\blacksquare R_{do} = 6,5 \cdot M_{so} = 6,5 \cdot 2400000 = \mathbf{15\,600\,000 \text{ Kč}}$$

Podniková režie je vyčíslena na 200 % mezd dělníků potřebných na výrobu celé série:

$$\blacksquare R_{po} = 2 \cdot M_{so} = 2 \cdot 2400000 = \mathbf{4\,800\,000 \text{ Kč}}$$

## b) Výroba součásti obráběním

Cena materiálu polotovaru pro obrábění je vypočtena na základě potřebného počtu tyčí, respektive jejich celkové délky a ceny za metr oceli C45E.

Polotovar je definován jako Ø140 – 77 ČSN EN 10060. Průměr 140 mm byl zvolen proto, že firma Ferona materiál C45E o průměru 135 mm nenabízí, nebo jej nemá momentálně ve svém katalogu. Mohla by být zvolena jiná firma, ale pro zachování porovnatelnosti cen tento výrobce nebyl měněn.



- Kusů z 1 tyče =  $\frac{6000}{77} = 77,9 \rightarrow 77 \text{ ks}$
- Délka polotovarů =  $77 \cdot 77 = 5929 \text{ mm} \rightarrow \text{zbývá } 71 \text{ mm}$
- Prořez kotoučovou pilou tvoří 0,9 mm  $\rightarrow \frac{71}{77} = 0,92$ , je možné zhotovit 77 kusů z tyče o délce 6000 mm, odpad z této tyče bude téměř nulový.
- Při sériovosti  $80000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$  je potřebný počet tyčí:  $N_o = \frac{80000}{77} = 1039 \text{ ks} \text{ á } 6 \text{ m}$
- $l_c = N_o \cdot 6 = 1039 \cdot 6 = 6228 \text{ m}$

Cena daného množství materiálu je vypočtena na **27 564 892 Kč**.

Množství odpadu z tyčových polotovarů:

Odpad z každé tyče je stanoven na  $77 \cdot 0,9 \text{ mm}$  prořez, který se změní v třísky.

- $l_{od} = 77 \cdot 0,9 \cong 71 \text{ mm}$

Hmotnost třísek z tyče:

- $V_{t1} = l_{od} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 71 \cdot \frac{\pi \cdot 140^2}{4} = 1092960,1 \text{ mm}^3 = 1093 \text{ cm}^3$
- $m_{t1} = V_{t1} \cdot \rho = 1093 \cdot 7,850 = 8580 \text{ g} = 8,58 \text{ kg}$
- $m_{tc1} = m_{t1} \cdot N_o = 8,58 \cdot 1039 = 8914,6 \text{ kg}$

Investiční návrat za odpad ve formě třísek, kdy  $1 \text{ kg} = 1,80 \text{ Kč}$ :

- $n_{t1} = m_{tc1} \cdot 1,8 = 8914,6 \cdot 1,8 = \mathbf{16\,046,3 \text{ Kč}}$

Hmotnost třísek odebraných obráběním:

- $V_o = l \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 77 \cdot \frac{\pi \cdot 140^2}{4} = 1185322,9 \text{ mm}^3 = 1185,3 \text{ cm}^3$
- $m_{po} = V_o \cdot \rho = 1185,3 \cdot 7,850 = 9304,6 \text{ g} = 9,3 \text{ kg}$
- Hmotnost obrobenej součásti je 2,168 kg.
- $m_{t2} = m_{po} - 2,168 = 9,3 - 2,168 = 7,132 \text{ kg}$
- $m_{tc2} = m_{t2} \cdot N = 7,132 \cdot 80000 = 570560 \text{ kg}$

Investiční návrat za odpad ve formě třísek, kdy  $1 \text{ kg} = 1,80 \text{ Kč}$ :

- $n_{t2} = m_{tc2} \cdot 1,8 = 570560 \cdot 1,8 = \mathbf{1\,027\,008 \text{ Kč}}$

Tab. 21 Souhrnná tabulka vratného materiálu obrábění

Druh odpadu	Množství [kg]	Návrat [Kč]
Třísky z prořezu	8914,6	16046
Třísky z obrábění	570560	1027008
<b>Celkem</b>	<b>579474,6</b>	<b>1043054</b>

Mzdy dělníků potřebné pro výrobu obráběním:

- 1 ks součásti je obráběn  $t_{ko} = 25 \text{ min}$
- Mzda dělníka na hodinu  $e = 150 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$
- Mzda potřebná na 1 ks:  $M_o = \frac{t_{ko}}{60} \cdot e = \frac{25}{60} \cdot 150 = 62,5 \text{ Kč}$
- Mzda potřebná na celou sérii:  $M_{so} = M_o \cdot N = 62,5 \cdot 80000 = \mathbf{5\,000\,000 \text{ Kč}}$

Dílenská režie je vyčíslena na 650 % mezd dělníků potřebných na výrobu celé série:

- $R_{do} = 6,5 \cdot M_{so} = 6,5 \cdot 5000000 = \mathbf{32\,500\,000 \text{ Kč}}$

Podniková režie je vyčíslena na 200 % mezd dělníků potřebných na výrobu celé série:

- $R_{po} = 2 \cdot M_{so} = 2 \cdot 5000000 = \mathbf{10\,000\,000 \text{ Kč}}$

#### 4.1 Celkové zhodnocení nákladů a technologií

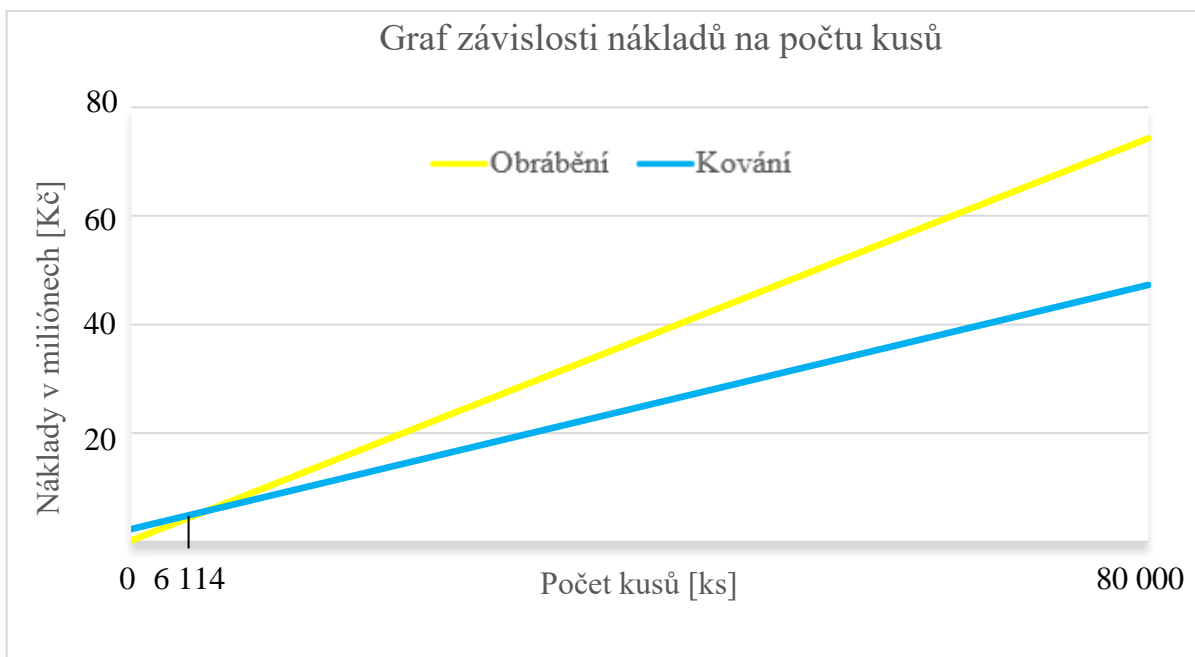
Celkové shrnutí je vyvedeno v tab. 22 a 23 na jejichž základě byl vytvořen graf závislosti nákladů na počtu vyráběných kusů.

Tab. 22 Náklady na polotovary

Druh odpadu	Kování a následné obrábění	Obrábění
Cena za polotovary [Kč]	12 336 636	27 564 892
Odřezky z tyčí polotovaru [Kč]	-14 724	-
Třísky z prořezu [Kč]	-3 375	-16 046
Třísky z obrábění [Kč]	-213 120	-1 027 008
Celkový investiční návrat [Kč]	-231 219	-1 043 054
<b>Σ Náklady na polotovary [Kč]</b>	<b>12 105 417</b>	<b>26 521 838</b>

Tab. 23 Celkové náklady na sérii a 1 ks

	Kování a následné obrábění	Obrábění
Cena materiálu [Kč]	12 336 636	27 564 892
Mzdy dělníků [Kč]	3 400 000	5 000 000
Dílenská režie [Kč]	22 100 000	32 500 000
Podniková režie [Kč]	6 800 000	10 000 000
Náklady na nástroj	560 000	50 000
Vratný odpad [Kč]	-231 219	-1 043 054
Čas výroby [min]	17	25
<b>Celkové náklady [Kč]</b>	<b>44 965 417</b>	<b>74 071 838</b>
<b>Náklady na kus [Kč]</b>	<b>562</b>	<b>926</b>



Z tabulky 23 vyplývá, že finanční úspora při kování s případným dalším obráběním (externě) činí přibližně 30 miliónů. Vyčíslené náklady na kus jsou téměř poloviční oproti samotnému obrábění. Na základě výpočtů byl sestaven graf závislosti nákladů na počtu kusů. Z něj je patrné, že třískové obrábění by bylo ekonomicky výhodné pouze tehdy, pokud by výrobní série čítala maximálně cca 6 000 kusů. Obrábění je z hlediska mechanických vlastností výrobku nedostačující.

## 5 Závěry

V bakalářské práci byla porovnávána vhodnost rozličných výrobních technologií pro výrobu zadaného kuželového ozubeného pastorku s přímými zuby pro stavební stroj. Vzhledem k předpokládaným vyšším hodnotám namáhání, byla výrobním materiálem zvolena nelegovaná ušlechtilá ocel 12 050 (C45E). Z důvodu namáhání byla vyžadována protvářená vláknitá struktura. Tím byla metoda třískového obrábění a metoda odlévání eliminována z výběru vhodných variant pro výrobu pastorku.

Nejvhodnější metodou výroby je tváření, konkrétně kování. S ohledem na technologičnost i ekonomičnost výroby bylo tváření dále specifikováno na kování za tepla v otevřené zápustce. Na základě této volby byla vypracována literární studie kování z obecného hlediska ale i z hlediska blíže zaměřeného na zápustkové kování.

Na základě rešerše byl navržen technologický postup s výpočty. Byl zhotoven návrh výkovku a výronkové drážky. Dále bylo nutné vypočítat velikost polotovaru. Ta byla vypočtena na základě požadované hmotnosti materiálu (s ohledem na smrštění i opal) a s přihlédnutím k možnému způsobu dělení. Tím bylo stanoveno řezání, jelikož stříhací stroje pro daný průměr polotovaru jsou velmi drahé a bez možnosti NC programování. Byla vybrána NC pásová pila ARG 260 CF značky Pilous. K ohřevu před kování jsou nejběžněji používány indukční pece. Pro daný průměr byl zvolen středofrekvenční ohříváč KSO 630/2,1-C55 firmy Roboterm Chotěboř.

Vzhledem k rozměrům a tvarové složitosti výkovku byl určen vhodným výrobním strojem svislý klikový kovací lis. Jeho tvářecí síla byla vypočtena dle ČSN 22 8306, vztahů, které udává Tomlenov a z nomogramu. Výsledné hodnoty byly v intervalu od 10,1 MN do 13,7 MN. Na základě tohoto intervalu byl zvolen klikový lis LZK 1600 P/SH firmy Šmeral s tvářecí silou 16 MN. Kování je v mnoha případech prováděno v linkové výrobě. Tudíž zvolením kovacího lisu mohl být podle normy ČSN 42 9030 určen i ostříhovací lis. Byl vybrán ostříhovací lis firmy Šmeral, a to konkrétně stroj LKOA 200. Volba byla podložena výpočtem.

Proces výroby byl specifikován jako tříoperační, kdy kování sestává z užití dvou předkovacích zápustek a jedné zápustky dokovací. Jejich návrh je vypracován ve výkrese BP-03-183383.

Daný technologický postup byl technicko-ekonomicky zhodnocen. Byly vyčísleny náklady na výrobu kování a obráběním. Tyto náklady byly následně porovnány. Z porovnání vyplývá, že třískové obrábění by bylo ekonomicky výhodné pouze tehdy, pokud by výrobní série nepřesahovala cca 6 000 kusů. Avšak je třeba zmínit, že obráběním nelze získat požadované mechanické vlastnosti výrobku. Kování je možné zajistit vysokou produktivitu, požadované mechanické vlastnosti a odpovídající výrobní náklady.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [40]

1. STROMBERG, Joseph. This Insect Has The Only Mechanical Gears Ever Found in Nature. *Smithsonian* [online]. 2013, 2013(9), 1 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/this-insect-has-the-only-mechanical-gears-ever-found-in-nature-6480908/>
2. SKOPAL, Jaroslav. Ozubení, ozubená kola a ozubená soukolí v technických normách - terminologie. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2007, 2017(7), 51 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/ozubeni-ozubena-kola-a-ozubena-soukoli-v-technickych-normach-terminologie.html>
3. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles MISCHKE, Richard Gordon BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTUM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.
4. Ozubené kolo. In: *RS Components* [online]. Warszawa: RS Components Sp. z o.o., 2019 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/products/5215803/>
5. Soukolí. In: *Conrad* [online]. Hirschau: Conrad Electronic, 2019 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/ocelove-kuzelove-soukoli-modelcraft-m1-15-30-zubu.k237266>
6. Materiálový list. In: *Bolzano* [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, 2019 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: [https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_Tycova\\_ocel/EN\\_10083/MOP\\_vlastnosti\\_C45.pdf](https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_C45.pdf)
7. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-838-0.
8. HUMÁR, Anton. *Technologie 1: Technologie obrábění* [online]. Brno, 2003 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf). Syllab. Vysoké učení technické v Brně.
9. Lítí do písku. *Silesia-Tech s.r.o.* [online]. Opava: Silesia-Tech, 2019 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <http://www.silesia-tech.cz/liti-do-piskove-formy>
10. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 106 s. ISBN 978-80-7213-580-2.
11. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
12. Uzavřené zápusťkové kování. In: *QFORM: Software for simulation and optimization of metal forming processes and metal profile extrusion* [online]. Malta: QForm, 2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.qform3d.com/processes/hot>
13. MORAVEC, Ján. *Teória tvárnenia kovov*. V Žiline: Žilinská univerzita; EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2015, 331 stran: ilustrace, tabulky, grafy + 1 CD-ROM. ISBN 978-80-554-1095-1.
14. HOSFORD, William and Robert CADDEL. (2007): *Metal Forming: Mechanics and Metalurgy*. 3th ed. New York: Cambridge University Press. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
15. *Roboterm Chotěboř* [online]. Chotěboř: Roboterm spol. s r.o., 2012 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/>

16. DRASTÍK, František. *Kovářství: zákl. učivo pro výcvik kovářů v praxi a pomůcka k odb. školení dorostu* /|. 3.doplň. vyd. Praha: SNTL, 1971, 116 s. ISBN x.
17. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 246 s. : il. ; 25 cm. ISBN 978-80-227-3242-0.
18. Šmeral: Šmeral a.s. - *Výrobce tvářecích strojů* [online]. Brno: Šmeral Brno, 2017 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/>
19. ČSN 420271: *Výkovky ocelové zápusťkové. Všeobecné technické požadavky*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1993.
20. ČSN 429030: *Výkovky ocelové zápusťkové. Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1987, 24 s.
21. PODANÝ, Kamil. *Technologie tváření: CTT*. Brno, 2017. Protokol ze cvičení.
22. JÍLEK, Ladislav. Některé poznámky k problematice ostříhování a děrování: Some remarks on issues of trimming and punching. *Kovárenství*. Brno: SVAZ KOVÁREN ČR o.s., 2012, 4(43), 7-9. ISSN 1213-9289.
23. ČSN 22 8306: *Tvářecí nástroje. Zápusťky pro svislé kovací lisy. Technické požadavky na konstrukci*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1991, 40 s.
24. NOVOTNÝ, Karel. (1992) *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
25. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník. Ústav strojírenské technologie VUT* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2019, 2006 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/index.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm)
26. UTTENDORFSKÁ, Magdalena. *Nové trendy dělení materiálu* [online]. Brno, 2008 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=5701](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5701). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.
27. Kotoučová pila Legnex. In: *Legnex* [online]. Jablonec nad Nisou: LEGNEX spol. s r.o., 2018 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <http://www.legnex.cz/produkt/mep-tiger-352-nc-5-0-kotoucova-pila/>
28. ČERMÁK, Jan. Ostříhování a děrování zápusťkových výkovků: Trimming and punching of closed die forgings. *Kovárenství*. Brno: SVAZ KOVÁREN ČR o.s., 2012, 4(43), 17-20. ISSN 1213-9289.
29. SUCHOPÁREK, Rudolf. *Základy zápusťkového kování oceli*. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956. ISBN x.
30. PALÁT, Hynek. *Žíhací teploty*. Opava, 2012. Dostupné také z: <https://slideplayer.cz/slide/11238009/>
31. *Autodesk Inventor* [online]. Kalifornie USA: Autodesk, 2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/>
32. *Ferona a.s.: online* [online]. Praha: Ferona, 2017 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/>

33. Metallcraft HPS 175 DS. *STÜRMER MASCHINEN: Welt der maschinen* [online]. Hallstadt: STÜRMER MASCHINEN, 2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.stuermer-machines.com/brands/metallkraft/category/product/metallkraft-clinking-and-punching-machines/hps-175-ds-3819175/?fbclid=IwAR1akIJTMV6ZkgQjzDwPWuyw1ZPYYPokZtE5L6VkGEhycHKvoueuFxmC2eoc>
34. CNC pásová pila: ARG 260 CF. In: *Pilous: PROFESIONÁLNÍ PÁSOVÉ PILY NA KOV A DŘEVO* [online]. Brno: Pilous, 2016 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/automaticke/arg-260-cf-nc-automat#specification>
35. *Barko: Výkup na jedničku* [online]. Brno: Barko, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.druhotnesuroviny.cz/>
36. HRBÁČEK Emil: Zápustkové kování náboje kola. Brno, 2015. 49 s., 7 výkresů, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Marek Štroner, Ph.D.
37. ŠÍMA, Vojtěch. Zápustkové kování ozubeného kola. Brno, 2017. 52 s, 7 výkresů, 15 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc..
38. DŽUGAN, Ján a František GREŠKOVIČ. Možnosti využitia simulačného softvéru pri optimalizácii tvarovej dutiny kovacej zápustky. *Transfer inovácií* [online]. Košice, 2012, 2012, (22), 104-109 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/22-2012/pdf/104-109.pdf>
39. Technologie II: tváření kovů a zpracování plastů. *Katedra strojírenské technologie* [online]. Liberec: Katedra strojírenské technologie, 2018 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm#018](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm#018)
40. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Rázová práce bucharu	[J]
A <sub>min</sub>	Minimální houževnatost	[%]
b	Šířka můstku výronkové drážky	[mm]
C <sub>0</sub>	Součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku	[-]
D	Průměr	[mm]
D <sub>D</sub>	Průměr	[mm]
D <sub>krit</sub>	Kritický průměr	[mm]
D <sub>0</sub>	Průměr polotovaru	[mm]
D <sub>sm</sub>	Součinitel petchování	[-]
D <sub>t</sub>	Průměr	[mm]
e	Mzda dělníka na hodinu	[Kč·hod <sup>-1</sup> ]
F	Celková kovací síla	[N]
f	Součinitel tření	[-]
f	Šířka oblasti pro zaoblení hran	[mm]
F <sub>N</sub>	Normálová složka kovací síly	[N]
F <sub>S</sub>	Střižná síla	[N]
F <sub>T</sub>	Tečná složka kovací síly	[N]
h	Výška výronkové drážky	[mm]
H <sub>krit</sub>	Kritická výška	[mm]
H <sub>o</sub>	Výška polotovaru	[mm]
k <sub>o</sub>	Přetvárný odpor	[MPa]
k <sub>p</sub>	Přetvárná pevnost	[MPa]
K <sub>TS</sub>	Součinitel tvarové složitosti	[-]
l	Délka polotovaru	[mm]
L	Obvod v místě stříhání výronku	[mm]
l <sub>c</sub>	Celková délka potřebných tyčí	[mm]
l <sub>od</sub>	Délka odpadu	[mm]
l <sub>s</sub>	Délka celistvého materiálu	[mm]
l <sub>t</sub>	Délka třísek	[mm]
M <sub>k</sub>	Mzda potřebná na 1 ks pro kování	[Kč]
m <sub>o</sub>	Hmotnost polotovaru	[kg]
M <sub>o</sub>	Mzda potřebná na 1 ks pro obrábění	[Kč]
m <sub>s</sub>	Hmotnost součásti	[kg]
m <sub>sc</sub>	Celková hmotnost pevného odpadu	[kg]
M <sub>sk</sub>	Mzda potřebná na celou sérii pro kování	[Kč]
M <sub>so</sub>	Mzda potřebná na celou sérii pro obrábění	[Kč]
m <sub>t</sub>	Hmotnost třísek z tyče	[kg]
m <sub>tc</sub>	Celková hmotnost třísek z tyčí	[kg]
m <sub>tco</sub>	Celková hmotnost třísek z obrábění	[kg]
m <sub>to</sub>	Hmotnost třísek z obrábění	[kg]
m <sub>v</sub>	Hmotnost výkovku	[kg]
m <sub>výr</sub>	Hmotnost výronku	[kg]
n	Výška zásobníku výronkové drážky	[mm]
N	Počet tyčí	[ks]
N <sub>k</sub>	Potřebný počet tyčí pro kování	[ks]
N <sub>o</sub>	Potřebný počet tyčí pro obrábění	[ks]
n <sub>s</sub>	Investiční návrat za pevný odpad	[Kč]

$n_t$	Investiční návrat za odpad ve formě třísek	[Kč]
$n_{to}$	Investiční návrat za odpad ve formě třísek z obrábění po kování	[Kč]
$r$	Hodnota vnějšího zaoblení	[mm]
$R$	Hodnota vnitřního zaoblení	[mm]
$R_{dk}$	Dílenská režie kování	[Kč]
$R_{do}$	Dílenská režie obrábění	[Kč]
$R_{e \min}$	Minimální mez kluzu	[MPa]
$R_{m \min}$	Minimální mez pevnosti	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$R_{mT}$	Pevnost materiálu za kovací teploty	[MPa]
$R_{pk}$	Podniková režie kování	[Kč]
$R_{po}$	Podniková režie obrábění	[Kč]
$s$	Tloušťka	[mm]
$S_D$	Půdorysná plocha výkovku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_j$	Dílčí plochy v úsecích	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	Plocha podstavy válce polotovaru	[mm <sup>2</sup> ]
$S_v$	Plocha největšího průřezu bez započtení můstku	[mm <sup>2</sup> ]
$T$	Teplota	[°C]
$t_{kk}$	Čas na výrobu 1 součásti kováním	[min]
$t_{ko}$	Čas na výrobu 1 součásti obráběním	[min]
$V$	Objem polotovaru	[mm <sup>3</sup> ]
$V_s$	Objem celistvého materiálu	[mm <sup>3</sup> ]
$V_t$	Objem třísek	[mm <sup>3</sup> ]
$z_j$	Průřez součástí	[mm]
$\lambda$	Štíhlost	[-]
$\mu$	Koeficient tření	[-]
$\rho$	Hustota	[g·cm <sup>-3</sup> ]
$\sigma_d$	Přetvárný odpor	[MPa]
$\sigma_n$	Napětí v průřezu	[MPa]
$\sigma_p$	Přetvárný odpor	[MPa]
$\tau_{fj}$	Smykové napětí	[MPa]
$\psi$	Vliv tření na vzrůst napětí	[-]
$\delta$	Procento opalu	[%]

#### Zkratky:

DKT	Dolní kovací teplota
HKT	Horní kovací teplota
NC	Numerical control
CNC	Computer numerical control

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ozubený převod v noze svítilky [1] .....	9
Obr. 2 Kuželové soukolí [5] .....	9
Obr. 3 Kuželové ozubené kolo [4] .....	9
Obr. 4 Schéma vyráběného ozubeného kola [-] .....	10
Obr. 5 Frézování tvarovou frézou [8].....	10
Obr. 6 Frézování nožovými hlavami [8] .....	11
Obr. 7 Šablonování [8] .....	11
Obr. 8 Odlévání do pískové formy [9] .....	11
Obr. 9 Uzavřená zápustka [12].....	12
Obr. 10 Otevřená zápustka [-] .....	12
Obr. 11 Kovací teploty [10] .....	13
Obr. 12 Proměnlivost plastických vlastností oceli s T [10] .....	14
Obr. 13 Indukční pec [15] .....	15
Obr. 14 Pneumaticko-hydraulický buchar [18].....	17
Obr. 15 Klikový lis [18] .....	18
Obr. 16 Zápustky pro kování na klikovém lisu [10] .....	19
Obr. 17 Schéma jednoduchého výkovku s přídavky [21] .....	20
Obr. 18 Princip zaoblování hran [20],[21] .....	21
Obr. 19 Vhodnější umístění blány pro ukázkový výkovek [21] .....	21
Obr. 20 Výronková drážka lisu [10].....	22
Obr. 21 Výronková drážka bucharu [10] .....	22
Obr. 22 Vložková zápustka [23].....	23
Obr. 23 NC kotoučová pila [27].....	25
Obr. 24 Ostříhovací lis [18].....	26
Obr. 25 Žíhací teploty [30].....	27
Obr. 26 Dělicí rovina [-].....	28
Obr. 27 Velikost a pozice úkosů [-] .....	28
Obr. 28 Znázornění výšek a příslušných šířek pro poloměry hran a přechodů [-].....	29
Obr. 29 Ukázka práce s tabulkou 3 [20].....	30
Obr. 30 Výřez z nomogramu dle ČSN 22 8306 [23].....	31
Obr. 31 Ukázka výpočtu v softwaru Inventor [31] .....	32
Obr. 32 HPS 175 DS [33].....	33
Obr. 33 ARG 260 CF [34].....	33
Obr. 34 Ohřívač KSO 630/2,1-C55 [15] .....	34
Obr. 35 Práce s nomogramem [23] .....	35
Obr. 36 Nárůst normálových napětí [-] .....	36
Obr. 37 LZK 1600 P/SH [18].....	37
Obr. 38 LMZ 1600 A/S [18] .....	37
Obr. 39 LKOA 200 [18] .....	38
Obr. 40 Nacenení požadovaného množství polotovaru [32].....	39

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení C45E [6] .....	10
Tab. 2 Doporučená hodnota kmitočtu a průměru vsázky [14] .....	15
Tab. 3 Dovolené úkosy dle ČSN 42 9030 [20] .....	20
Tab. 4 Doporučené poloměry [20] .....	21
Tab. 5 Mezní úchylky jmenovitých rozměrů [23].....	23
Tab. 6 Volba poměru $m_0/m_v$ [20] .....	25
Tab. 7 Orientační volba ostříhovacího lisu k výrobnímu stroji[20] .....	27
Tab. 8 Výpočet poloměrů zaoblení pro zadané ozubené kolo [-] .....	29
Tab. 9 Výpočty pro $\Delta D$ [-] .....	32
Tab. 10 Technické parametry HPS 175 DS [33].....	32
Tab. 11 Technické parametry ARG 260 CR [34] .....	32
Tab. 12 Ekonomické zhodnocení volby polotovaru [-].....	33
Tab. 13 Přetvárná pevnost pro materiál 12050 (C45E) [23] .....	34
Tab. 14 Dílčí výpočty [-] .....	35
Tab. 15 Kovací síly [-] .....	36
Tab. 16 Technické parametry LZK 1600 [18] .....	36
Tab. 17 Technické parametry LMZ 1600 [18].....	36
Tab. 18 Doporučené rozměry výronkové drážky pro vybraný stroj [23].....	36
Tab. 19 Technické parametry LKOA 200 [18] .....	37
Tab. 20 Souhrnná tabulka vratného materiálu kování [-].....	39
Tab. 21 Souhrnná tabulka vratného materiálu obrábění [-].....	40
Tab. 22 Náklady na polotovar [-] .....	41
Tab. 23 Celkové náklady na sérii a 1 ks [-].....	42

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list oceli 12 050, C45E [6]
- Příloha 2 Geometrický výpočet podle Tomlenova [38]
- Příloha 3 Výpočet kovací síly dle nomogramu [23]
- Příloha 4 Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H1 a stěny výkovku dle ČSN 42 9030 [20]
- Příloha 5 Technické parametry ohřívače KSO 630/2,1-C55 [15]
- Příloha 6 Upínání zápustek [37], [39]

## SEZNAM VÝKRESŮ

Pastorek	BP-01-183383
Výkovek	BP-02-183383
Kovací zápustky	BP-03-183383
Dokovací zápustka	BP-04-183383
Vyhazovač	BP-05-183383

## Příloha 1 Materiálový list oceli 12 050, C45E [6]

Přehled vlastností oceli C45E ( C45 R )										1.1191 (1.1201)									
Druh oceli	Nelegovaná ušlechtilá ocel k zušlechťování																		
TDP	ČSN EN 10083-2: 2007. Tato norma obsahuje též ocel C45, klasifikovanou jako jakostní ocel k zušlechťování. Oceli C45 nelze nahradit ušlechtilé oceli C45E popř. C45R. C45 však lze nahradit ocelmi C45E resp. C45R.																		
Drůbežší označení	C45E (C45R) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; Ck 45 ( Cm 45 ) podle DIN 17200; 12 050 podle ČSN.																		
Použití	Často používaná nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů ve stavu zušlechťeném nebo normalizačně žíhaném. Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. U tvarově složitějších dílů se pro zamezení vzniku trhlin dává přednost kalení do oleje. Ocel je vhodná i k povrchovému kalení plamenem nebo indukci.																		
Chemické složení v % hmot. ( rozbor tavby )	C	Si max.	Mn	P max.	S max. <sup>1)</sup>	Cr max.	Mo max.	Ni max.	Cr+Mo+Ni										
	0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,030	0,035	0,40	0,10	0,40	max. 0,63										
Složení hotového výrobku <sup>2)</sup>	0,40-0,52	0,43	0,46-0,84	0,035	0,040	0,45	0,13	0,45											
Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>3)</sup>	Průměr mm	R <sub>e</sub> min. MPa		R <sub>m</sub> MPa		A min. %		Z min. %		KV min. J									
	d ≤ 16	490		700-850		14		35		-									
	16 < d ≤ 40	430		650-800		16		40		25									
Mechanické vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném <sup>3)</sup>	d ≤ 16	340		min. 620		14		-		-									
	16 < d ≤ 100	305		580		16		-		-									
	100 < d ≤ 250	275		560		16		-		-									
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost (+S)			Žíháno na měkko (+A)			Povrchově kaleno (tvrdost povrchu)												
	HB max. 255			HB max. 207			HRC min. 55												
Prokalitelnost <sup>4)</sup>	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušebního tělesa v mm																		
	Tvrdost v HRC																		
	+H	Mez	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	20	25	30	
	max	62	61	61	60	57	51	44	37	34	33	32	31	30	-	-	-	-	
	min	55	51	37	30	28	27	26	25	24	23	22	21	20	-	-	-	-	

Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm)

Tvrdość v HRC

Teplota popouštění st.C

Křivky prokalitelnosti

Tvrdość v HRC

Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm

H max

H min

Technologické vlastnosti							
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1150 až 850 °C						
Tepelné zpracování	Normalizační žíhání °C	Žíhání na měkko °C	Isotermické žíhání °C	Teplota Kalení °C	Kalící prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalením čela °C
	840 až 880	650 až 700	800 až 950 660 -1 hod.	820 až 860	voda nebo olej	550 až 660	850 ± 5
Obrobiteľnosť	Uvedené podmínky jsou doporučeny s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokalitelnosti.) Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při horní hranici při kalení do oleje. Jako kalící prostředí lze použít i syntetické kapaliny-emulze.						
Obrobiteľnosť	Obrobiteľnosť třískovým obráběním může být ve stavu po válcování ztížená vlivem zvýšené pevnosti. Pro obrábění je výhodnější stav žíhaný na měkko. Zlepšenou obrobiteľnosť vykazuje ocel C45R se zvýšeným obsahem S.						
Stříhatelnost	Přichází v úvahu např. při dělení tyčí na vsázkové délky pro zápusťkové kování. Ocel C45 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování u průměru nad 80 mm.						

<sup>1)</sup> obsah síry u oceli C45R je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

<sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.

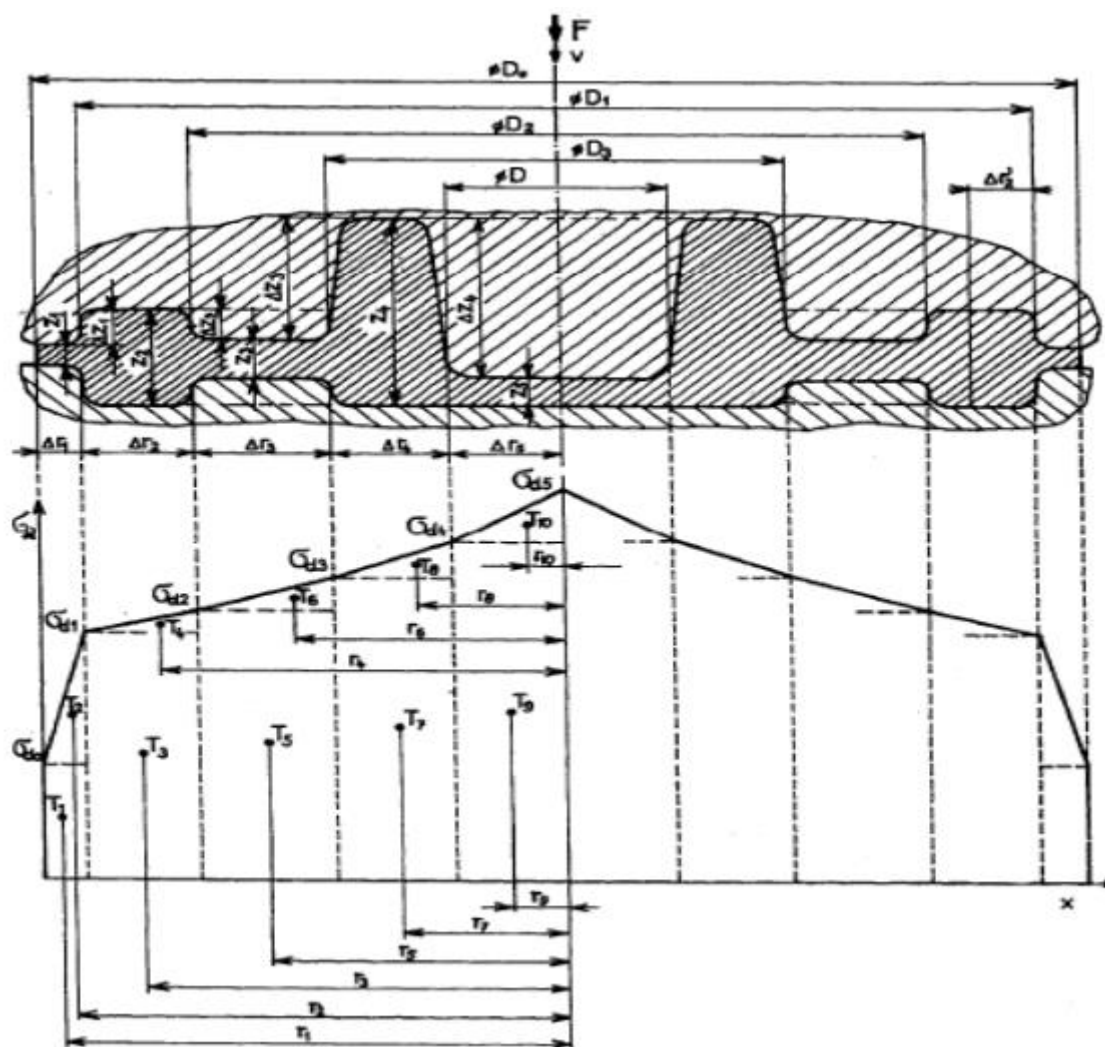
<sup>3)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťování popř. normalizačním žíhání) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.

R<sub>e</sub> –mez kluzu, R<sub>m</sub> – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka L<sub>0</sub> = 5,65√S<sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).

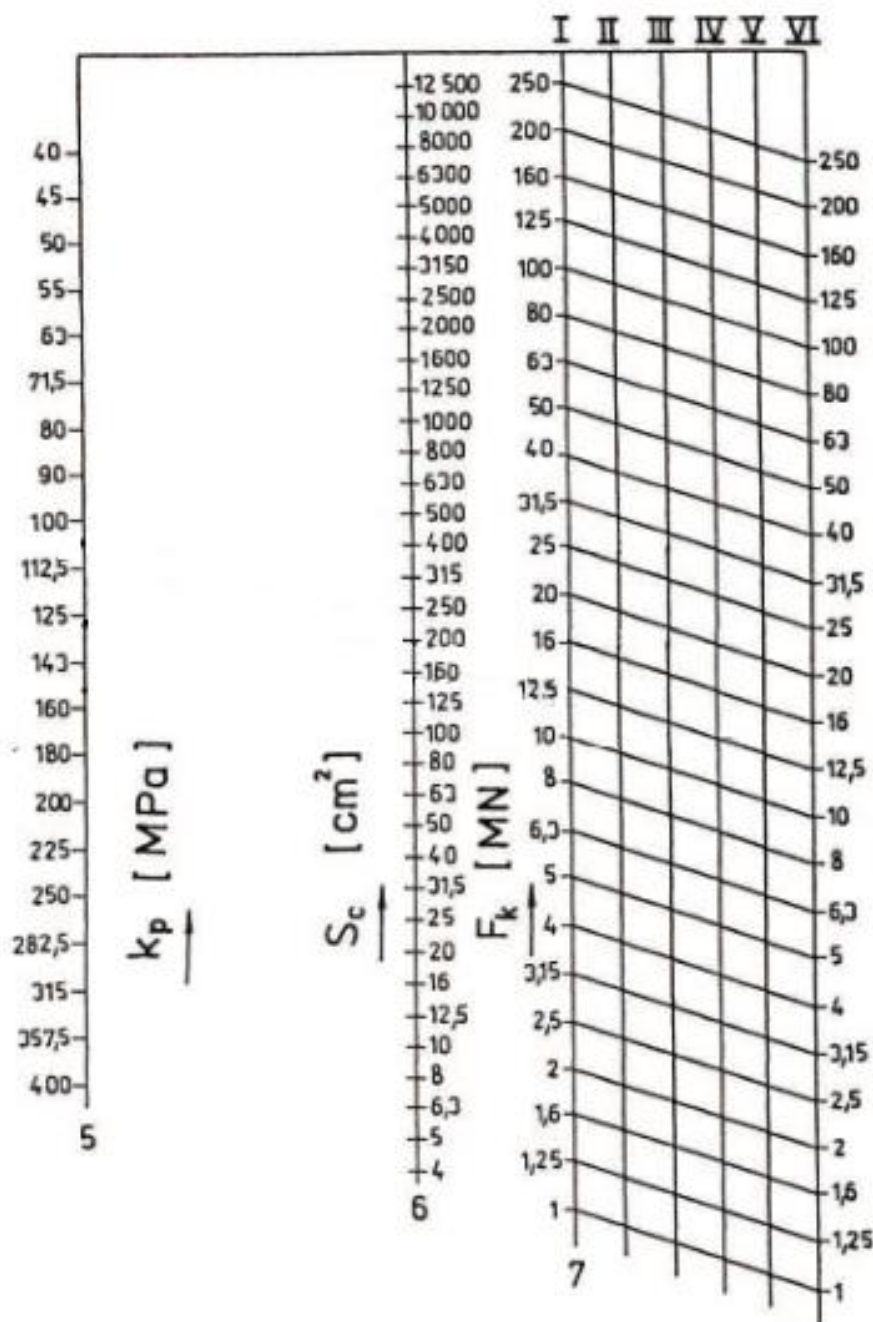
<sup>4)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.



**Příloha 2** Geometrický výpočtový model podle Tomlenova [38]







Nomogram z ČSN 22 8306



Tabulka přetvárné pevnosti pro materiál 12 050

Materiál	Kovací teplota [°C]					
	900	950	1000	1050	1100	1150
<b>12 050</b>	149	128	108	91	80	71

Tab. 2 STUPEŇ TVAROVÉ SLOŽITOSTI VÝKOVKŮ		
I.		Jednoduché, kompaktní součásti
II.		Kompaktní, málo členité součásti
III.		Součásti s vysokým stupněm členitosti
IV.		Rozvidlené součásti
V.		Součásti s malými tloušťkami a přechody
VI.		Součásti s extrémně malou tloušťkou průřezu

## Příloha 4

Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H1 a stěny výkovku dle ČSN 42 9030 [20]

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (D, B)		Největší výška výkovku H					
		přes	10	20	40	63	100
		do 10	25	40	63	100	160
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, blány H <sub>1</sub> a stěny s					
	40	4	5	6	7	9	
40	63	5	5	6	7	9	11
63	100	5	6	7	9	11	13
100	160	6	7	9	11	13	15
160	250	8	9	11	13	15	17
250	400	10	13	15	17	20	25

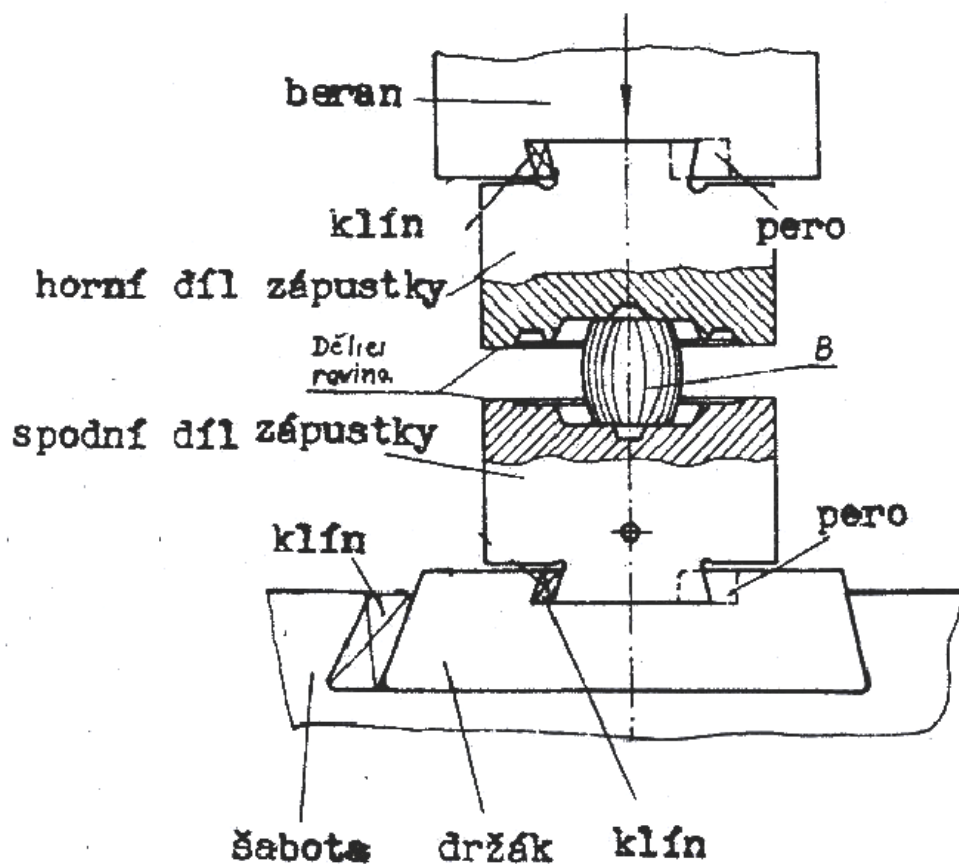
## Příloha 5

Technické parametry ohřívače KSO 630/2,1-C55 [15]

Ø D přířezu [mm]	50 - 80
Délka l přířezu [mm]	1,4·D - 550
Max. ohřáté množství [kg/h]	1500
Výstupní teplota T [°C]	max. 1299
Vstupní frekvence [Hz]	50
Výstupní frekvence [Hz]	700 - 2100
Výkon [kW]	630
Výstupní napětí [V]	800

## Příloha 6 Upínání zápustek [37], [39]

A: Upínání zápustek v bucharu [39]



B: Upínání zápustek upínačem v lise [37]

